

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Vývoj používání materiálů pro letadlové konstrukce

Development of Use of Materials for Aircraft Structures

Student:	Matěj Bartoněk
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Matěj Bartoněk**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy
Téma: **Vývoj používání materiálů pro letadlové konstrukce**
Development of Use of Materials for Aircraft Structures

Zásady pro vypracování:

1. Požadavky na materiály používané v letadlových konstrukcích
2. Historický přehled materiálů používaných v letadlových konstrukcích
3. Současné trendy vývoje materiálů používaných v letadlových konstrukcích
4. Porovnat tyto trendy na posledních modelech největších výrobců dopravních letadel

Cíl BP: Uvést historický přehled a nastínit další vývoj v oblasti materiálů pro letadlové konstrukce

Seznam doporučené odborné literatury:

Beňo, L. a kol.: Učební texty pro techniky údržby letadel dle předpisu JAR 66 – modul 6
Materiály a základní strojnické součástky, Brno: CERM Brno, 2004. ISBN: 80-7204-352-8
Slavík, L. a kol.: Učební texty pro techniky údržby letadel dle předpisu JAR 66 modul 11: Aerodynamika, konstrukce a systémy letadel, Brno: CERM Brno, 2004. ISBN: 80-7204-367-6
Relevantní veřejně dostupné zdroje

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Ostrava 2013

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 9.5.2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

9.5.2013

Matěj Bartoněk

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Matěj Bartoněk

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Budovatelů 397, Velká Polom 747 64

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BARTONĚK,M. *Vývoj používání materiálů pro letadlové konstrukce : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013,59s. Vedoucí práce: Smrž, V.

Bakalářská práce se zabývá druhy materiálů, jejich vlastnostmi a použitím v letadlových konstrukcích. V úvodu jsou probrány druhy materiálů, které se používaly a používají v letectví. Poté jsou vysvětleny vlastnosti materiálů, a vhodnost pro letecké použití. Dále pak jsou ukázány druhy konstrukcí trupu a křídel, které se z daných materiálů sestavují. V závěru práce se nachází srovnání dvou nejmodernějších letadel z hlediska stavby konstrukce a použitých materiálů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BARTONĚK,M. *Development of Use of Materials for Aircraft Structures : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 59p. Thesis head: Smrž, V.

This thesis deals with the types of materials, their properties and use in aircraft structures. The introduction discusses the types of materials, that are used in aviation. After the properties of materials and suitability for aviation use are explained. Furthermore, the types of fuselage and wings structures are shown, which are compiled from those materials. In conclusion, there is a comparison of two modern aircraft, in terms of building design and used materials.

OBSAH

Cíl Bakalářské práce.....	11
Úvod	12
1. Materiály používané v letectví	13
1.1. Slitiny lehkých kovů	14
1.1.1. Hliník a jeho další slitiny	14
1.1.2. Slitiny hliníku k tváření	14
1.1.3. Slitiny Hliníku vhodné k odlévání.....	15
1.1.4. Hořčíkové Slitiny.....	15
1.2. Oceli.....	16
1.3. Titanové slitiny	17
1.4. Speciální kovové materiály	17
1.5. Plasty.....	19
1.5.1. Reaktoplasty	19
1.5.2. Termoplasty.....	19
1.5.3. Elastomery.....	20
1.6. Dřevo.....	20
1.7. Keramické materiály a sklo.....	21
1.8. Kompozitní materiály	21
1.8.1. Charakteristiky a vlastnosti kompozitů.....	22
1.8.2. Pevnostní složky kompozitů – vlákna	25
1.8.3. Skleněná vlákna.....	26
1.8.4. Aramidová vlákna.....	26
1.8.5. Uhlíková vlákna.....	27
1.8.6. GLARE®	27
1.8.7. Shrnutí kompozitů	28
2. Vlastnosti a charakteristiky používaných konstrukčních materiálů.....	29
2.1. Fyzikální vlastnosti materiálů	29
2.1.1. Hustota	30
2.1.2. Bod tání a tuhnutí	30
2.1.3. Délková a objemová roztažnost	31
2.1.4. Tepelná vodivost	32
2.1.5. Elektrická vodivost.....	33
2.1.6. Permeabilita.....	33
2.2. Chemické vlastnosti.....	34

2.2.1.	Odolnost proti korozi	35
2.2.2.	Žáruvzdornost	35
2.2.3.	Žárupevnost	35
2.3.	Mechanické vlastnosti	36
2.3.1.	Pevnost	36
2.3.2.	Tvrdost	37
2.3.3.	Pružnost	38
2.3.4.	Houževnatost	39
2.3.5.	Křehkost	39
2.4.	Technologické vlastnosti	39
2.4.1.	Tvárnost	39
2.4.2.	Svařitelnost	40
2.4.3.	Slévatelnost	40
2.4.4.	Obrobitelnost	41
3.	Duhy konstrukcí letadel	41
3.1.	Trup	41
3.1.1.	Typy konstrukcí trupu	42
3.2.	Konstrukce křídel	46
3.2.1.	Dělení podle funkčnosti potahu	46
3.2.2.	Rozdělení podle přenosu zatížení	49
3.2.3.	Rozdělení podle způsobu spojení s trupem letadla	50
4.	Porovnání letadel Airbus A380 a Boeing B787 Dreamliner	51
4.1.	Airbus A 380	52
4.2.	Boeing B787 Dreamliner	54
5.	Závěr	57
6.	Seznam použité literatury	58

Seznam obrázků

Obrázek 1: Formování kompozitního materiálů [1]	23
Obrázek 2: Schéma kompozitu GLARE® [10].....	27
Obrázek 3: Jednotlivé druhy namáhání materiálu [3].....	37
Obrázek 4: Prutová konstrukce [2]	43
Obrázek 5: Nosníková skořepina [2]	43
Obrázek 6: Poloskořepina [2].....	44
Obrázek 7: Skořepina [2]	44
Obrázek 8: Příklad složení sendvičové konstrukce [11].....	45
Obrázek 10: Nosníková skořepina [2]	47
Obrázek 9: Nosníková poloskořepina [2]	47
Obrázek 11: Dělení křídel [2].....	48
Obrázek 12: Příklad geodetické konstrukce [13]	49
Obrázek 13: Srovnání obou letadel [8]	51
Obrázek 14: Airbus A380 [16].....	52
Obrázek 15: Srovnání letadel [12].....	52
Obrázek 16: Znázornění daných materiálů na letadle [14]	53
Obrázek 17: Boeing B787 Dreamliner [15]	54
Obrázek 18: Znázornění daných materiálů [9].....	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka s přehledem používaných materiálů [1]	13
Tabulka 2: Následující tabulka znázorňuje rozdělení nekovových materiálů. [1]	18
Tabulka 3: Pevnostní charakteristiky [1]	25
Tabulka 4: Pevnostní charakteristiky [1]	26
Tabulka 5: Pevnostní srovnání kompozitů [1]	28
Tabulka 6: Měrná hustota materiálů [1]	30
Tabulka 7: Body tání a tuhnutí materiálů [1]	31
Tabulka 8: Teplotní vodivost vyjádřená v procentech vodivosti stříbra [1]	33
Tabulka 9: Použité materiály na Airbusu A380	53
Tabulka 10: Použité materiály na Boeingu B787	55

Seznam rovnic

Rovnice 1: Výpočet teplotní roztažnosti [1]	32
---	----

CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce bylo uvést přehled používaných materiálů v letectví a leteckých konstrukcích a nastínit, kam se může další vývoj ubírat při porovnání dvou nejmodernějších letadel dneška.

ÚVOD

Tato bakalářská práce popisuje vývoj a využívání materiálů pro letadlové konstrukce. Měla by mapovat jednotlivé druhy používaných materiálů, uplatnění těchto materiálů a také druhy konstrukcí, které můžeme za pomoci těchto materiálů sestavit.

V letectví je použito mnoho druhů materiálů. Každý materiál se používá nebo je vhodný pro jinou část letadla například draku letadla, křídla či podvozkové nohy. Všechny materiály však musí splňovat základní požadavky pro použití v létání, jako je co největší pevnost, ale zároveň co nejmenší hmotnost, co největší důraz na bezpečnost, ale co nejmenší ekonomické požadavky.

Nejpoužívanějším materiálem napříč světem je především hliník a jeho různé slitiny. Ovšem začátky letectví byly založeny na dřevěné prutové konstrukci s potahovým materiálem nejlépe plátnem. Nejčastějším druhem dřeva, které bylo použito, byl jasan, smrk a borovice. Dřevo je z hlediska malého a amatérského létání stále značně používané, ale v moderním velkém letectví už nemá místo. Je celkem pracné na údržbu a největším nepřítelem je vlhkost. Také potahové plátno je už dnes složité najít, nejčastěji se s ním setkáme pouze u historických letadlech uchovaných v muzeu .

Po čase se začaly kombinovat ocelové trubkové konstrukce se dřevěnými a potahovým materiálem se stal ocelový plech. Postupným vývojem se začala ocelová trubková konstrukce opouštět a na řadu přišel hliník s novějšími druhy konstrukcí. V dnešní době je i hliník postupně vytlačován kompozitními materiály.

Největší rozmach letectví, a tudíž i technologických pokroků, nastal během a po druhé světové válce. Technologický pokrok umožnil použití kompozitních karbonových materiálů, keramických materiálů a také plastů.

V dnešní době je největší důraz kladen na bezpečnost a ekonomičnost. To znamená, že materiály musí být co možná nejlehčí s co největší pevností, a to nám zajišťují právě kompozitní materiály.

Závěrem práce je porovnání dvou nejmodernějších dopravních letadel dnešní doby, a to jsou Airbus A380 a Boeing B787 Dreamliner, z hlediska použitých materiálů.

1. MATERIÁLY POUŽÍVANÉ V LETECTVÍ

I když historie letectví není příliš dlouhá, můžeme najít různé styly a cesty vývoje leteckých materiálů. Ať už byly některé více či méně využívány nebo naopak zavrhnuté, jedno měly vždy společné, a to byl cíl. Cíl letadlo vylepšit, inovovat, udělat ho lehčí, kvalitnější a v neposlední řadě i ekonomicky výhodné.

Hledání ideálních konstrukčních materiálů, které by splňovaly všechny možné požadavky, je nekončící proces, který přináší stále nové poznatky. Letecká technika je v dnešní době využívána v různorodých podmínkách. Srovnajme například vrtulník nesoucí břemeno v malé výšce a dopravní letadlo pohybující se v nadmořské výšce okolo 11 km a s rychlostí blízkou rychlosti zvuku. Proto musíme vědět, pro jaký druh dopravního prostředku volíme materiál, a jak bude jeho konstrukce namáhána. Tohle vše nám dá dohromady soubor požadovaných vlastností.

Tabulka 1: Tabulka s přehledem používaných materiálů [1]

Rozdělení konstrukčních materiálů			
	Základní rozdělení	Skupiny materiálů	Druhy materiálů
Konstrukční materiály	KOVY	Oceli a litiny	Oceli
			Litiny
		Neželezné kovy	Měď
			Lehké slitiny
		Speciální kovy	Drahé kovy
			Spékané kovy
	NEKOVY	Přírodní materiály	Dřevo
			Přýž
		Keramika a sklo	Porcelán
			Sklo
		Umělé materiály	Kompozity
			Termoplasty

1.1.Slitiny lehkých kovů

1.1.1. Hliník a jeho další slitiny

Hliníkové slitiny stále zaujímají přední místo ve výrobě letadel. Hlavní důvod je že čistý hliník má malou hustotu ($2,7 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$). Ale čistý hliník se v konstrukcích používá velmi málo, nejčastěji ho najdeme ve formě plechových tabulí a slabých fólií k ochraně potahů z málo korozivně odolných hliníkových slitin.

Pro letecké konstrukce se používají slitiny hliníku s jinými prvky, které zlepšují jeho dosavadní vlastnosti. Slitiny hliníku jsou nepatrně těžší s vyšší hustotou ($2,80 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$), ale jsou podstatně pevnější než čistý hliník. Další výhodou slitin je jejich snadná obrobitelnost a lisování. Pro tenkostěnné konstrukce, u nichž je rozhodující tvarová stabilita, jsou hliníkové slitiny výhodnější než ocel, protože při stejné hmotnosti srovnatelných kusů mohou mít hliníkové slitiny větší tloušťku stěn, čímž se zajistí vyšší tvarová stabilita.

Slitiny hliníku dělíme na slitiny k tváření a slitiny k odlévání.

1.1.2. Slitiny hliníku k tváření

Dural

Dural je slitina hliníku + hořčíku + mědi. Nejvíce využívaná při stavbě draku na nosníky, žebra, přepážky, podélné výztuhy, části řízení letadla a další. Dural se používá různě tepelně zpracován, nejčastěji kalen, popouštěn a žihán. Vyrábí se jako polotovary ve formě tyčí, profilů, trubek, plechů a pásů. Jeho hlavní výhoda je, že je tvárný, dobře se kove i válcuje.

Superdural

Superdural má vyšší pevnost než dural, a proto se využívá pro více zatěžované části, například pásnice nosníků křídel.

Pantal

Pantal je slitina hliníku + hořčíku + křemíku. Je hodně odolná proti povětrnostním vlivům. Dále je také dobře svařitelná, proto se využívá na plechy, nádrže nebo nýty.

Amcam

Je to slitina hliníku + magnesia. Dobře svařitelná a využívá se hlavně pro nádrže.

1.1.3. Slitiny Hliníku vhodné k odlévání

Silumin

Je to slitina hliníku + hořčíku + křemíku + manganu, která je velmi vhodná k odlévání součástí leteckých konstrukcí. Slitiny hliníku, které se odlévají, podléhají korozi, proto se musí chránit eloxováním (elektrolytické pokrývání kysličníkem hlinitým). Hlavní nevýhodou hliníkových slitin je velký pokles jejich pevnosti s rostoucí teplotou. Například dural má při teplotě 250 °C poloviční pevnost, to znamená, že jejich použití na konstrukce nadzvukových letadel se značným aerodynamickým ohřevem je omezené.

Aby nedocházelo ke korozi hliníkových slitin, chrání se jejich povrch okysličováním (oxidací) a plátováním. Elektrolytická oxidace povrchu – eloxování – vytvoří na povrchu vrstvu oxidu (hydroxidu hlinitého) tlustou asi 0.2mm. Po provedení eloxování se díly lakují.

Při elektricky vodivém styku hliníkové slitiny s kovem, o rozdílném elektrostatickém potenciálu, jako je ocel, bronz, mosaz, nikl, a za přítomnosti vody nebo vzdušné vlhkosti může vznikat elektrochemická koroze.

Aby se zabránilo korodování konstrukce, musíme oba spojované materiály o rozdílném potenciálu povrchově chránit. Hliníkové slitiny eloxujeme, natíráme a ocelové se zinkují. Pokud konstrukce dovoluje, vkládáme mezi styčné plochy vhodné vložky z kadmia, zinku nebo pryže, popřípadě můžeme využít speciální nátěr.

1.1.4. Hořčíkové Slitiny

Hořčík má jako jeden z mála technických materiálů, nejmenší hustotu (1,74g cm⁻³) a vysokou odolnost proti korozi. Avšak čistý hořčík se nevyužívá, slouží převážně jako osvětlovací nebo zápalná látka.

Hořčíkové slitiny – elektrony

Jsou to slitiny hořčíku + hliníku + zinku + manganu a jinými kovy. Hliník a zinek v určitém množství u hořčíkových slitin zhoršuje mechanické vlastnosti, mangan naopak zvyšuje odolnost proti korozi. Pro potřeby součástí konstrukcí dělíme hořčíkové slitiny na tvářené a lité.

Nejvíce se v letectví využívá hořčíková slitina ML – 5, který je nejlepší slitinou pro odlévání. Dále známe hodně využívané slitiny označené jako A9V a jiné. Slitiny se dobře zpracovávají a obrábějí, dobře odolávají nárazovému zatížení a jsou odolné i proti únavovému namáhání. Odlitky této slitiny se používají na méně namáhané části konstrukce, naopak plechy z hořčíkových slitin se používají i na značně namáhané části, jako jsou potahy kormidel, a na náběžné a odtokové hrany křídel.

Povrch hořčíkových slitin se před korozi chrání mořením a několikanásobným nátěrem. Tím zaručíme ochranou vrstvu a nemožnost koroze. Ochrana proti elektrochemické korozi se dělá stejným způsobem jako u hliníkových slitin.

1.2.Oceli

Oceli jsou vhodným materiálem pro značně namáhané části konstrukce letadel. Jejich velkou nevýhodou je vyšší hustota ($7,7$ až $7,86 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$) oproti slitinám z lehkých kovů. Naopak výhodou ocelí je vysoká pevnost, vysoká odolnost proti střídavému namáhání, dobrá svařitelnost, možnost vhodným zpracováním dosáhnou tvrdého povrchu a jiné.

Ocelové díly konstrukce se používají hlavně pro závěsná kování, podvozky, čepy, šrouby, nýty, pružiny, trubky, ozubená kola, pouzdra, valivá ložiska. Dále také pro značně namáhané části konstrukce draku letadla, jako jsou pásnice nosníků křídel, zesílená žebra nebo důležité trupové přepážky.

Další velkou výhodou ocelí oproti slitinám z lehkých materiálů je fakt, že ocel má větší odolnost při vyšších teplotách, proto se používá na místech, kde díly konstrukce mohou být vystaveny vysokým teplotám, nejčastěji v místech okolo výstupních trysek proudových motorů.

Ocel podléhá velmi často korozi, proto části konstrukce, vyrobené z oceli chráníme zinkováním nebo fosfátováním. Fosfátované povrchy se dále ještě lakují. Svařované části se chrání ochrannými nátěry až po svaření.

1.3. Titanové slitiny

Titan a jeho slitiny se stále více uplatňují ve výrobě leteckých konstrukcí hlavně pro jeho malou hustotu (čistý titan $4,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$), značnou pevnost a vysoké tavící teploty. Titanové slitiny mají i tu výhodu, že si uchovávají vysoké mechanické vlastnosti až do vysokých teplot okolo 600 °C. Žáruvzdornost titanu je až do 500 °C uspokojivá, ale při vyšších teplotách 600 °C a vyšších začíná do kovu pronikat dusík a kyslík z atmosféry, který způsobuje v kovu křehkost.

Tvářené titanové slitiny mají vysokou tvárnost, proto se z nich zhotovují trupové přepážky, nosníky, potahy a různé silově namáhané součásti (hlavně u proudových motorů).

Titan má také vysokou odolnost proti korozi. V atmosférických podmínkách nekoroduje vůbec. V mořské vodě (například hydroplány) nekoroduje a je odolnější než nerezavějící chromoniklová ocel. Titan odolá i kyselině dusičné, ale proti roztoku kyseliny sírové a solné má naprosto stejnou odolnost jako nerezavějící chromoniklová ocel.

1.4. Speciální kovové materiály

Drahé kovy jakou jsou zlato nebo stříbro jsou většinou pouze jako součást některých prvků avioniky nebo elektroniky letadel.

Dále využíváme spékané kovové materiály, které vznikají tepelným zpracováním lisovaných prášků čistých kovů. Tímto způsobem výroby lze přímo vyrábět složité pevnostní prvky, a přitom cíleně ovlivňovat vnitřní strukturu materiálu.

Nekovové materiály

Tabulka 2:Následující tabulka znázorňuje rozdělení nekovových materiálů. [1]

Základní dělení	Skupiny materiálů		Materiály	
Organického původu	Plasty	Přírodní	Celulóza	
			Tkaniny	
			Lepenka	
			Kůže	
			Bitumeny	
			Pryskyřice	
			Přírodní kaučuk	
		Syntetické	Reaktoplasty	Fenoplasty
				Aminoplasty
				Epoxidy
				Polyestery
			Termoplasty	Polystyrén
				Polyetylén
				Polyamidy
				Polyuretany
				Polyvinylchlorid
				Fluoroplasty
	Elastomery	Syntetický kaučuk		
		Technická pryž		
	Paliva a maziva	Paliva	Motorová nafta	
Letecký petrolej				
Letecký benzín				
Benzín				
Maziva		Kapalná		
		Plastická		
		Pevná		
Pomocné materiály	Ředidla			
	Lepidla			
	Barvy a laky			
	Brusné hmoty			
Anorganického původu			Keramika	
			Azbest	
			Slída	
			Sklo	

1.5. Plasty

Plasty patří mezi jednu z technicky nejmladší skupiny konstrukčních materiálů. Stávají se konkurencí pro materiály na přírodní bázi jako je sklo, keramika, dřevo aj. Plast je hodně flexibilní uměle vyrobený materiál. To znamená, že podle konstrukčních požadavků lze měnit jejich vlastnosti v širokém rozsahu. Touto vlastností dnes dokáže nahradit kovový materiál jako je zinek a jeho slitiny, slitiny olova a mosazi.

Plasty jsou organické sloučeniny skládající se z makromolekul obsahující tisíce atomů uhlíku a vodíku. Dále pak další prvky jako chlór, fluór, kyslík a další. Hlavní surovinou pro výrobu syntetických plastů je zemní plyn, hnědé a černé uhlí, nebo ropa. Chemickými procesy se nejdříve vyrobí nízkomolekulární látky – monomery, které jsou základní výchozí látkou pro výrobu makromolekulárních látek – polymerů. Polymery jsou lehké materiály s dobrou tvárností a výbornou korozivzdorností. Dělí se do tří základních skupin:

- Reaktoplasty
- Termoplasty
- Elastomery

1.5.1. Reaktoplasty

Je to druh plastů, který se působením tepla vytvrzuje. To způsobuje, že přechází nevratně do netavitelného a nerozpustného stavu. Mezi tento druh plastu patří:

- Fenoplasty – Jsou tvrdé a zároveň křehké, odolné proti rozpouštědlům a teplotám do 120°C.
- Epoxidy – Jsou pevné a velice odolné proti povětrnostním vlivům. Vyrábí se z nich epoxidové skelné lamináty s pevností až 320 Mpa.
- Polyesterové skelné lamináty – Jde o vrstvený materiál určený pro velké a složité součásti. Nahrazují výrobky z tažených plechů, například na karoserie. Ve směru vláken mají velkou pevnost až 800 Mpa.

1.5.2. Termoplasty

Jsou to takové plasty, které působením tepla měknou, ale chemicky se při tom nijak nemění. Jsou vhodné pro výrobu součástí vstříkovaním, vyfukováním a odléváním.

- Polystyrén – Tvrdý, křehký dobrý vysokofrekvenční izolátor. Vhodný jako tepelná izolace.
- Polyetylén – Houževnatý s vysokou pevností a odolností proti opotřebení. Vyrží teploty až 100°C.
- Polyamidy – Pevné a houževnaté plasty s vysokou odolností proti opotřebení. Dobře tlumí rázy a vibrace.
- Polyuretany – Svými vlastnostmi v mnohém předčí polyamidy. Navíc jsou odolné proti vlhku a chemikáliím.
- Polyvinylchlorid (PVC) – Nejznámější a nejpoužívanější plast. Dělí se na tvrdý PVC a měkký PVC. Tvrdý je známý jako Novodur a Vinidur. Měkký známe jako Igelit a Novoplast.

1.5.3. Elastomery

Elastomery se využívají pro jejich velkou pružnost. Součásti vyrobené z elastomerů lze snadno deformovat a po uvolnění deformační síly se součást vrátí do svého původního tvaru.

- Přírodní kaučuk – Je pružný, při ohřevu na 50°C až 70°C měkne. Při ochlazení se opět stane pružný a elastický. Je rozpustný v benzínu a minerálních olejích. Při působení slunce, tepla a přísunu teplého vzduchu dochází ke stárnutí a křehnutí kaučuku. U syntetických kaučuků se tyto nežádoucí vlastnosti odstraňují.
- Syntetický kaučuk – Vylepšený přírodní kaučuk. Používá se pro výrobu pneumatik, těsnění a tlumičů.

1.6.Dřevo

Dřevo bylo v počátcích letectví hlavním materiálem pro výrobu leteckých konstrukcí. Mezi jeho hlavní výhody patří dobrá odolnost proti únavě, výhodný poměr mezi pevností a hustotou, avšak hlavní nevýhoda dřeva je slabá odolnost proti atmosférickým vlivům.

Postupným vývojem v letectví bylo dřevo z velké části vytlačeno kovy. Stále ale nachází uplatnění i u celokovových letadel, například na vrtule, podlahy a různé části vybavení kabiny.

Aby mohlo být dřevo použité na stavbu konstrukce letadla, musí být nejprve zušlechtěno. Toho docílíme klížením lamel nebo fólií. Tím vznikne dřevo zušlechtěné. Klížením vznikají i díly větších rozměrů bez ohledu k výchozím rozměrům materiálu. Lze tím zlepšit a zvýšit mechanické vlastnosti přirozeného dřeva.

K výrobě dřevěných konstrukcí letadel se nejčastěji volí tyto druhy dřevin:

- | | |
|------------|---------|
| ➤ Borovice | ➤ Olše |
| ➤ Smrk | ➤ Lípa |
| ➤ Bříza | ➤ Jasan |
| ➤ Buk | ➤ Jilm |

Smrkové a borovicové dřevo se nejčastěji používá k výrobě pásnic nosníků a žeber, trupových podélníků a přepážek. K výrobě překližek se využívá bříza, buk a olše. Lípa je vhodná na různé výklížky. Nosné prvky a vrtule se vyrábějí z jasanu nebo jilmu.

1.7.Keramické materiály a sklo

Tyto materiály zařazujeme do skupiny tuhých anorganických materiálů buď na bázi křemičitanů (sklo) nebo na bázi rozemletých minerálů (keramické materiály). V konstrukci letadel se uplatňují tyto materiály buď jako izolace, nebo jejich vlákna jako součást vícevrstevných materiálů pevnostních prvků. Skleněná vlákna se využívají pro přenos informací v optoelektronických systémech. U letadel, které dosahují hypersonických rychlostí, se keramické materiály používají díky jejich vysoké tepelné odolnosti.

1.8.Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou v dnešní době budoucnost moderního letectví. Díky jejich specifickým vlastnostem a jiným důležitým faktorům dochází, že konvenční materiály se dostávají do pozadí. Proto bych chtěl kompozitním materiálům věnovat větší prostor než jiným už tady probraným materiálům.

Kompozity mají oproti kovovým materiálům nižší měrnou hmotnost, lépe odolávají korozi, mají lepší tlumivé, tepelně i elektrické izolační vlastnosti. Pokud je srovnáme s kovy, tak dosahují srovnatelných nebo i daleko lepších mechanických vlastností. S vývojem kompozitů je spjat i vývoj keramických materiálů pro použití v letectví. Celkově nekovové materiály začínají hrát důležitou roli při volbě materiálů pro stavbu letadla.

1.8.1. Charakteristiky a vlastnosti kompozitů

Kompozity jsou moderní tenkostěnné materiály. Vznikají kombinací jednoduchých a už dlouho existujících materiálů. Využívání tohoto druhu materiálu začíná rok od roku stoupat, a to nejen v sofistikovaných a drahých výrobcích, ale i v běžně dostupných předmětech, jako je například horské kolo nebo tenisová raketa. Ale než se dostal kompozitní materiál do rukou tenistů, byl využíván hlavně v letecké technice nebo automobilním průmyslu. V letectví mají kompozity významné a neochvějné místo. Prvky složené z kompozitů můžeme najít po celém letadle, dokonce i v primární konstrukci draku letadla.

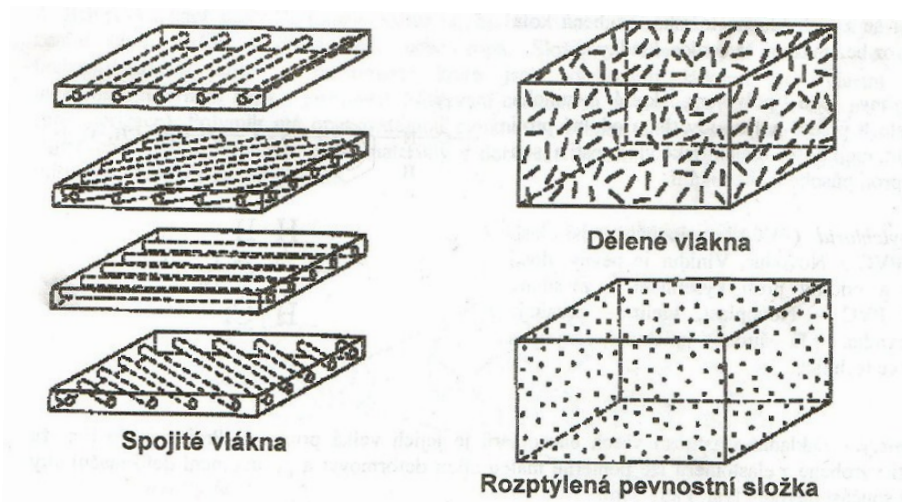
Pokud se vhodně zvolí technologie zpracování kompozitů, lze dosáhnout výrobků s vysokou pevností, velkou odolností teplot v širokém rozpětí, a to vše při velmi nízké měrné hmotnosti. Kompozity můžeme označit za konstrukční materiál nejen dneška, ale i blízké budoucnosti.

Složení kompozitu:

- Matrice – Základní hmota, která plní funkci pojiva.
- Zpevňující složky – Většinou se jedná o vlákno, popřípadě o částice, které mají zpevňující účinek.

Pevnostní složkou v kompozitu je vlákno spojitě nebo dělené. Nejčastěji v kompozitu nalezneme vlákna spojitá splétaná.

Obrázek 1: Formování kompozitního materiálu [1]



Pojem kompozit má specifické vlastnosti. Aby mohl být materiál považován za kompozit, musí splňovat tyto podmínky:

- Musí být tvořen nejméně dvěma chemicky odlišnými složkami.
- Musí být uměle vytvořen.
- Z makroskopického hlediska musí mít složky, ze kterých se kompozit skládá, rovnoměrné rozložení v celém objemu.
- Konečné vlastnosti vyrobeného kompozitu musí být odlišné od vlastností složek, ze kterých se skládá, a jsou synergické.

Kompozity dělíme do tří hlavních skupin podle typu matrice

- Kompozity s polymerovou matricí – Tvoří ji organické polymery, jako jsou epoxidy, polyestery a fenoly. Jejich druhou složkou jsou vlákna, nejčastěji skleněná, bórová a uhlíková.
- Kompozity s kovovou matricí – Tuto matrici nejčastěji tvoří hliník nebo titan. Vlákna mohou být bórová, uhlíková nebo ocelová.
- Kompozity s keramickou matricí – Vlákna mohou být bórová nebo uhlíková. Tato kombinace se nejčastěji využívá pro použití ve vysokých teplotách.

Živice

Živice se používají k výrobě kompozitů, hlavně matric. Aby byly použitelné k výrobě kompozitů, musí splňovat následující požadavky. Musí mít malou hustotu a dobré mechanické vlastnosti, vynikající přilnavost, dobrou houževnatost a odolnost vůči působení vnějšího agresivního prostředí.

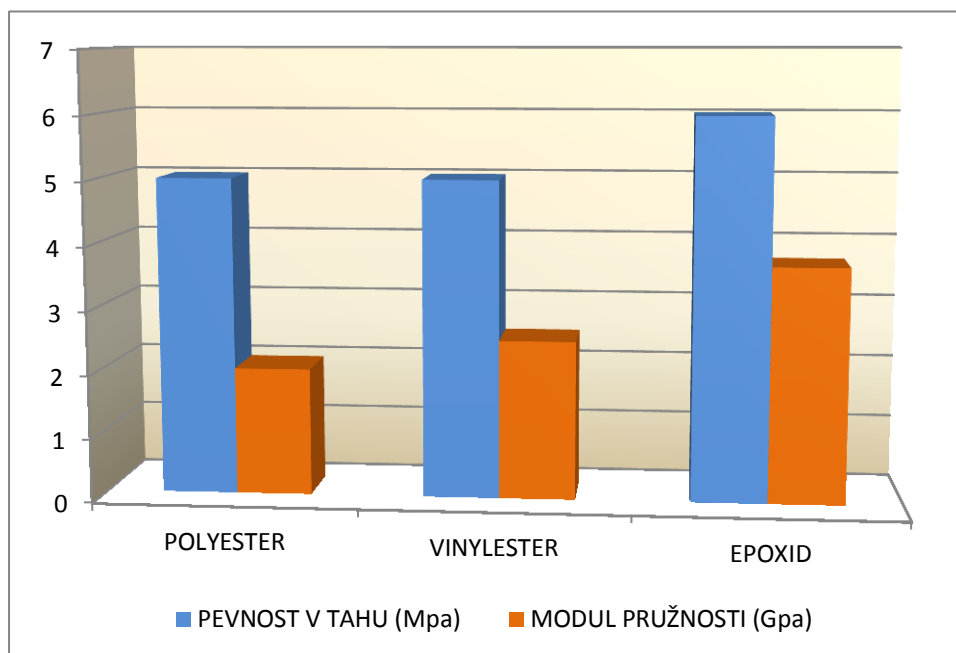
Živice používané na výrobu kompozitů můžeme nazývat polymery (syntetické živice). Zpravidla spadají do kategorie termoplastů a reaktoplastů.

Nejčastěji používané živice

- Polyesterová živice – V průmyslové výrobě všeobecně známe a velmi často používané. Nevýhodou jsou velmi průměrné mechanické vlastnosti. Jako klady můžeme uvést nízké pořizovací náklady a snadné a jednoduché použití.
- Vinylesterová živice – Jedná se o živice velmi podobné svou strukturou živícím polyesterovým. Na rozdíl od polyesterových živic mají velmi vysokou odolnost proti působení chemických látek a daleko lepší mechanické vlastnosti. Značnou nevýhodou je nutnost dalšího vulkanizování pro získání požadovaných vlastností, velký materiálový úbytek při procesu vulkanizace a z ekonomického hlediska vyšší pořizovací náklady.
- Epoxidové živice – V dnešní době jsou to nejkvalitnější a nejlepší, co pro kompozit můžeme využít. Mají vynikající mechanické a tepelné vlastnosti, vysokou odolnost proti působení vnějšího prostředí. Při vulkanizaci nevzniká skoro žádná ztráta. Tyto živice se nejčastěji využívají pro výrobu leteckých konstrukcí popřípadě jiných komponentů využívaných v letectví. Už způsob použití napoví, že tyto živice budou vzhledem k ostatním srovnávaným poměrně drahé, potřebují přesnost při výrobě a náročnou manipulaci.

Nejdůležitějšími vlastnosti živic jsou tvrdost, pevnost a pružnost. Následující graf znázorňuje pevnostní charakteristiky popsaných typů živic.

Tabulka 3: Pevnostní charakteristiky [1]



Kromě výše popsaných živic známe i další, ale mnohem méně používané než výše uvedené.

- Fenolové živice – Mají vysokou ohnivzdornost
- Polyuretanové živice – Vyznačují se vysokou houževnatostí.
- Polyamidové živice – Používají se pro tepelně namáhané součásti. Nejčastěji nalezneme v letectví a raketovém průmyslu. Například jako vstupy do motorů, tepelně namáhané povrchové součásti.

1.8.2. Pevnostní složky kompozitů – vlákna

Abychom mohli vlákno použít k výrobě kompozitu, musíme posoudit kvalitu a použitelnost vlákna. Kvalitu vláken posuzujeme podle jeho základních mechanických vlastností a podle vzájemné interakce živice s vláknem. Dále podle množství a orientace vláken v kompozitu.

V praxi se nejčastěji používají vlákna skleněná, aramidová a uhlíková.

1.8.3. Skleněná vlákna

Skleněná vlákna se vyrábějí z křemičitého písku nebo kaolinu. Vlastnosti skelných vláken dělíme podle typů skel, ze kterých se vlákna tahají:

- E – electrical
- A – Alkaline
- C – Chemical

Jednotlivé typy skelných vláken se liší svými mechanickými vlastnostmi a druhem použití.

1.8.4. Aramidová vlákna

Tyto vlákna se vyrábějí ze syntetického polymeru (aromatic polyamide). Vlákna jsou tvořená organickou sloučeninou uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku. Mají velkou vysokou pevnost při nízké hustotě, jsou ohebná a odolávají nárazům a vibracím. Nejznámějším aramidovým vláknem používaným nejen v letectví je KEVLAR®.

- KEVLAR® - Kevlar se na trhu se objevil v roce 1970. Ze začátků byl používán pouze jako náhrada ocelových vláken v pneumatikách, ale v současné době se nejvíce využívá v kompozitních konstrukcích vyráběných pro letecký průmysl. Aramidová vlákna se řadí do skupiny nylonů, ale proti nylonům mají mnohem lepší strukturální vlastnosti. Díky těmto vláknům je Kevlar tepelně stabilní a má vysokou pevnost. Dále má vysokou pružnost a pro letecký průmysl nejpodstatnější vlastnost, malá hmotnost. Dnes jsou dostání tři druhy Kevlaru, které se liší svými vlastnostmi, je to Kevlar 29, Kevlar 49 a Kevlar 149.

V tabulce jsou znázorněny pevnostní charakteristiky výše uvedených Kevlarů.

Tabulka 4: Pevnostní charakteristiky [1]

Druh	Pevnostní charakteristiky			
	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti (GPa)	Pevnost v tahu (GPa)	Tažnost (%)
Kevlar 29	1,44	83	3,6	4
Kevlar 49	1,44	131	3,6 - 4,1	2,8
Kevlar 149	1,47	186	3,4	2

1.8.5. Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna se vyrábějí řízenou oxidací, karbonizací a grafítizací. Vyznačují se nejlepšími mechanickými vlastnostmi, vysokou korozivzdorností a únavovou pevností. Tyto vlastnosti zajišťuje vnitřní struktura vlákna a také technologie zpracování při výrobě. Uhlíková vlákna mají průměrnou hustotu 1750 kg/m^3 . Mají malý modul pružnosti v kolmém směru k ose vláken, nižší tažnost a zkracování vlákna při ohřevu. Vlákna využíváme jako výztuž kompozitů, kde většinou výztuž váží 80% váhy celého kompozitu. Kompozity z uhlíkových vláken se nejčastěji využívají v letectví, na trupy a křídla letadel. Například moderní kluzák může být celý vyroben pouze z kompozitu. Dále nachází využití jak ve vojenském tak i civilním sektoru.

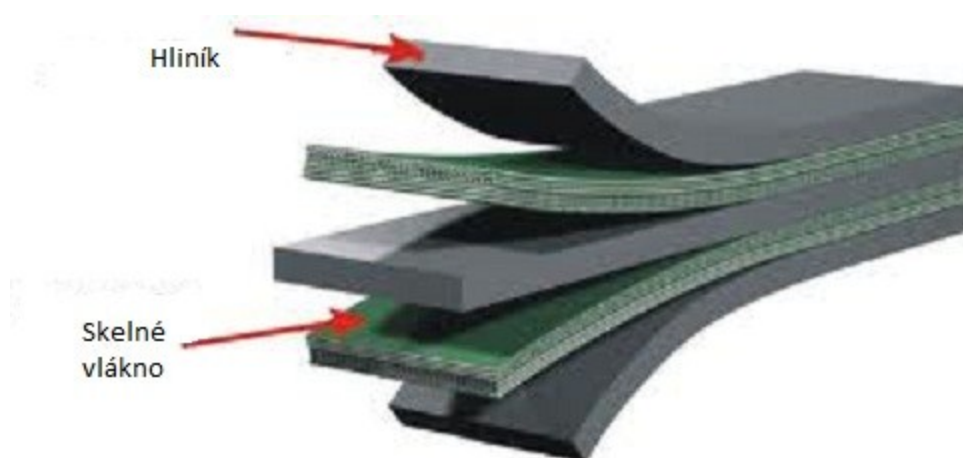
1.8.6. GLARE®

Glare je nový druh kompozitního materiálu. Je tvořený lepením vrstev hliníku a skelných vláken, tyto vrstvy se střídají. Materiál se používá na vnější panely integrální konstrukce trupu.

Jeho vlastnosti jsou :

- Odolává únavě materiálu
- Malá četnost šířících se trhlin
- Vysoká žáruvzdornost
- Vysoká odolnost proti poškození
- Vysoká odolnost proti korozi

Obrázek 2: Schéma kompozitu GLARE® [10]

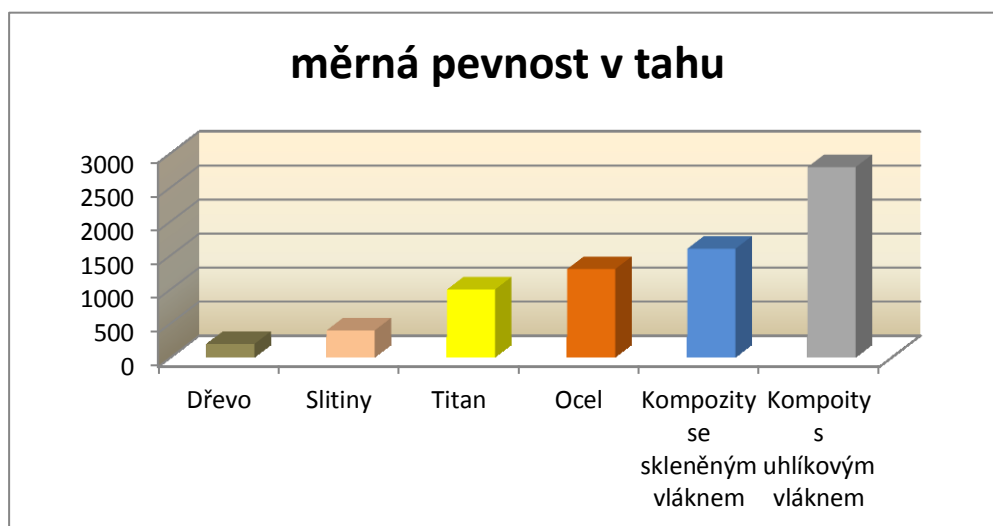


1.8.7. Shrnutí kompozitů

Kompozity díky svým vynikajícím vlastnostem nachází využití snad ve všech sektorech lidské činnosti. Jejich předností je vysoká pevnost v tahu a tvrdost, nízká hmotnost, vysoká spolehlivost a houževnatost, dobrá zpracovatelnost, vysoká žáruvzdornost a také přijatelná pořizovací cena.

Srovnání pevnostních vlastností kompozitů s jinými materiály

Tabulka 5: Pevnostní srovnání kompozitů [1]



2. VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY POUŽÍVANÝCH KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

Každý materiál používaný k výrobě leteckých konstrukcí se vyznačuje určitými vlastnostmi, a tím určuje svou míru využití. Pro letecké konstrukce jsou požadavky celkem přísné. Největší důraz je kladen na bezpečnost a ekonomičnost provozu.

Abych dokázali vybrat vhodný materiál pro stavbu letadla, potřebujeme k takovému rozhodnutí detailně poznat jeho dané charakteristiky.

Vlastnosti materiálů dělíme do následujících bodů:

- Fyzikální vlastnosti
- Chemické vlastnosti
- Mechanické vlastnosti
- Technologické vlastnosti
- Pevnostní charakteristiky

2.1.Fyzikální vlastnosti materiálů

Fyzikální vlastnosti vyjadřují hmotnostní, elektrické, tepelné a magnetické kvality materiálu. Jsou popisovány těmito charakteristikami:

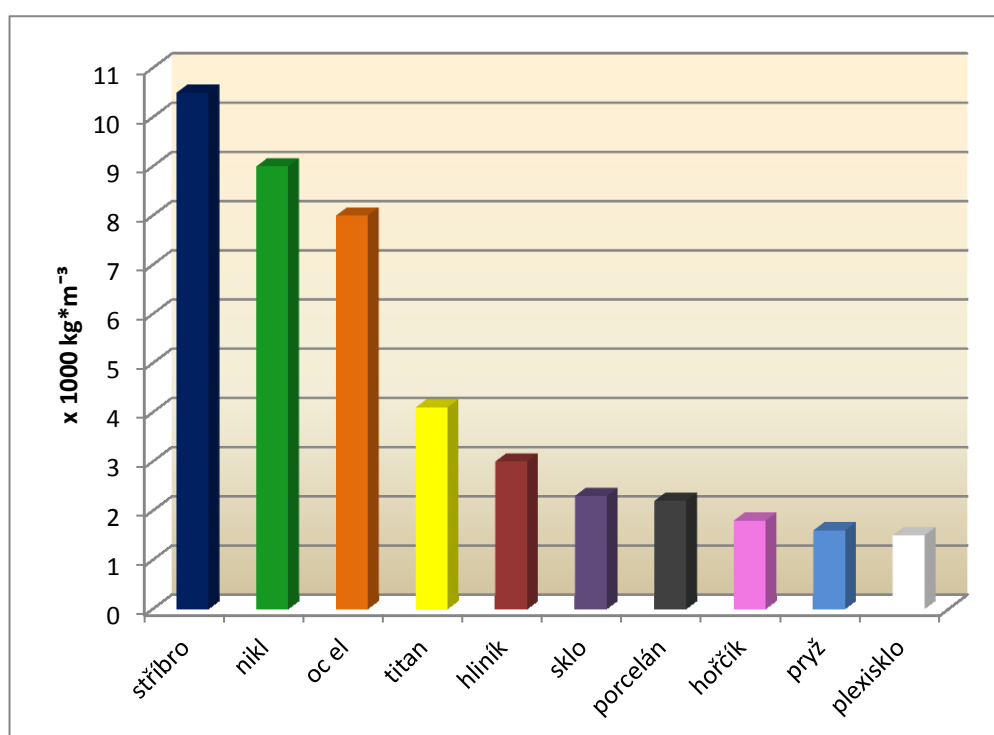
- Hustota
- Bod tání a tuhnutí
- Délková a objemová roztažnost
- Tepelná vodivost
- Elektrická vodivost
- Permeabilita

2.1.1. Hustota

Hustota materiálu je dána poměrem hmotnosti dané látky a jejího objemu. Číselně se rovná hmotě látky obsažené v jedné objemové jednotce. Hustota závisí na složení látky a na jejím stavu, zejména teplotě, u plynů také na tlaku. U chemicky čistých látek je hustota závislá na atomové struktuře, to znamená na pořadí v periodické soustavě prvků.

Vzorec pro výpočet hustoty : $\rho = m/V$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Tabulka 6: Měrná hustota materiálů [1]



Hustota materiálu, jinak také měrná hustota, je pro letadlové konstrukce mimořádně významný parametr. Je to jeden z nejdůležitějších požadavků na letadlové konstrukce vůbec a je požadována minimální možná prázdná hmotnost konstrukce. Proto se v leteckých konstrukcích setkáváme zásadně jen s materiály menších měrných hmotností.

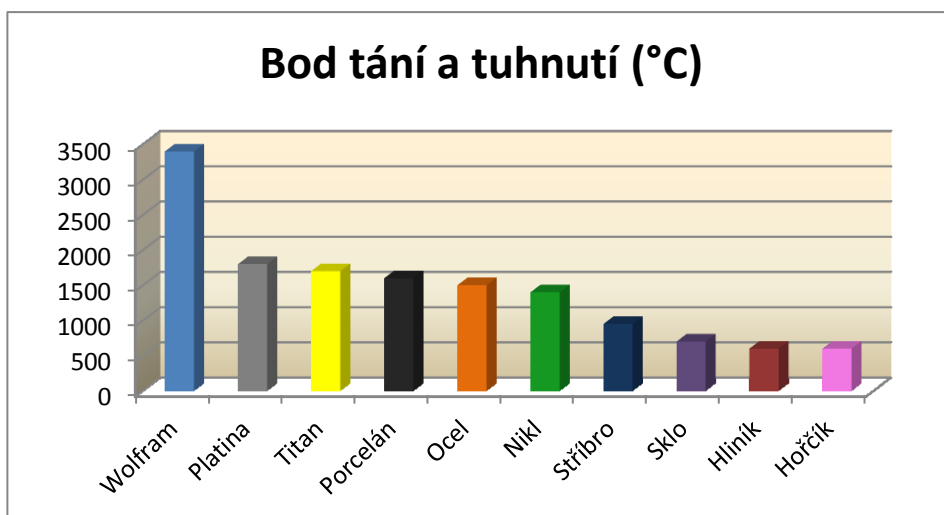
2.1.2. Bod tání a tuhnutí

Další vlastnost, která nás u voleného materiálu zajímá, je jeho bod tání a tuhnutí. Určuje tedy teplotu, při které látky mění svoje skupenství. Chemicky čisté látky mají vždy zcela jednoznačnou teplotu tání a tuhnutí. Oproti tomu slitiny, sklo nebo keramické

materiály přecházejí z jednoho skupenství do druhého velmi pozvolna, a proto se u nich uvádí teplotní rozsah tání a tuhnutí.

Následující graf zobrazuje body tání a tuhnutí některých vybraných materiálů

Tabulka 7: Body tání a tuhnutí materiálů [1]



Znalost bodu tání a tuhnutí je velmi důležitá zejména při zpracování surovin, ve slévárenství, při svařování nebo při pokovování. Pro letadlové konstrukce lze od této teploty odvodit také odolnost materiálu vůči působení teploty.

2.1.3. Délková a objemová roztažnost

S odolnosti materiálu proti působení teplot je taky spojen pojem délková a objemová roztažnost. Délková a objemová roztažnost je dána zvětšením délky materiálu nebo zvětšením jeho objemu při změně teploty daného materiálu. Je to relativní hodnota, která se udává vzhledem k počáteční délce nebo objemu materiálu. Naopak některé materiály, jako jsou třeba plasty nebo spékané materiály, vykazují smršťlivost. To znamená, že s rostoucí teplotou se jejich objem zmenšuje.

Pro výpočet teplotní roztažnosti se používá součinitel délkové roztažnosti α , popřípadě součinitel objemové roztažnosti γ . Tento součinitel je vyjádřen relativní změnou délky l nebo objemu V při změně teploty materiálu o jeden stupeň.

Rovnice 1: Výpočet teplotní roztažnosti [1]

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \times \Delta T}$$

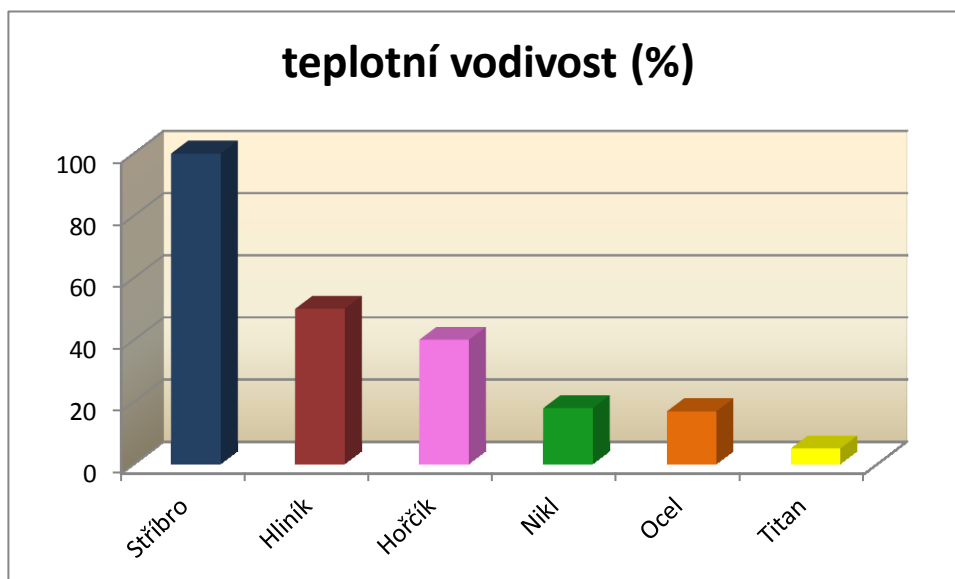
$$\gamma = \frac{\Delta V}{V \times \Delta T}$$

2.1.4. Tepelná vodivost

Při navrhování letadlových konstrukcí proto musíme brát v potaz změny rozměru materiálu vyvolané vyšším tepelným namáháním. Námi navrhovaný materiál by neměl být moc teplotně ovlivnitelný, a tím i pevnostně stálý. Materiály s vysokými hodnotami délkové a objemové roztažnosti nejsou vhodné pro tepelně namáhané části letadlové konstrukce.

S teplotní roztažností souvisí také teplotní vodivost (λ – $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Teplotní vodivost je množství tepla, které při ustáleném stavu projde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stěnami krychle o délce hrany 1 m, když rozdíl mezi těmito stěnami je 1 K. V tomto ohledu vždy platí, že kovové materiály jsou několikanásobně lepšími vodiči než materiály nekovové. Nejlepším tepelně vodivým materiálem je stříbro, a proto se tepelná vodivost jiných materiálů porovnává s ním. Výsledné porovnání se pak vyjadřuje v procentech vodivosti stříbra.

Tabulka 8: Teplotní vodivost vyjádřená v procentech vodivosti stříbra [1]



2.1.5. Elektrická vodivost

Elektrická vodivost ($\rho - S$) vyjadřuje schopnost materiálu vést elektrický proud. Tento parametr je posuzován jako převrácená hodnota k elektrickému odporu. Jednotkou elektrické vodivosti je Siemens. Vodivost je v letectví důležitá, zejména pro elektrické soustavy letadel.

Elektrickou vodivost můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Vodiče
- Polovodiče
- Izolanty

Nejllepšími vodiči jsou stříbro a měď, ale z praktických a úsporných důvodů se využívá měď pro porovnání vodivosti mezi materiály. Vezmeme – li, že měď má 100% elektrickou vodivost, potom hliník má 63% a ocel pouhých 13%.

2.1.6. Permeabilita

Další vlastnost materiálu, kterou musíme při stavbě letecké konstrukce brát v potaz je permeabilita. Je to poměr magnetické indukce naměřené v materiálu vystaveném působení magnetického pole a intenzity tohoto magnetického pole.

Permeabilita je vyjádřena vztahem: $\mu = B/H$ ($H.m^{-1}$)

Podle této veličiny rozdělujeme materiály do následujících skupin

- Diamagnetické – Takovéto materiály mají hodnotu $\mu < 1$, kde účinky magnetického pole zeslabují oproti vakuu. Do této skupiny patří většina organických sloučenin a z kovů například zlato, stříbro, měď, cín a olovo.
- Paramagnetické – Mají hodnotu $\mu > 1$, sice jenom nepatrně nad touto hodnotou a zesilování magnetického pole je u nich nepatrné. Patří sem některé soli vzácných zemin, alkalické kovy, platina a hliník.
- Feromagnetické – Jsou to materiály s vysokými hodnotami μ . Tyto materiály vykazují velkou závislost na intenzitě vnějšího magnetického pole a zůstávají zagnetizované i potom kdy intenzita vnějšího magnetického pole klesne na nulu. Z kovů do této skupiny patří železo, nikl, kobalt a některé slitiny chrom a mangan. Tato skupina se dále dělí na kovy, které jsou magneticky tvrdé a magneticky měkké. Magneticky měkké kovy se snadno magnetizují i odmagnetizují. U magneticky tvrdých je to přesně naopak. Magneticky měkké jsou vhodné v elektrotechnických obvodech, zatímco tvrdé se využívají jako permanentní magnety.

2.2.Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti materiálu určujeme složením materiálu a jeho základní chemickou strukturou. Po stránce konstrukční nás nejvíce budou zajímat tyto charakteristiky:

- Odolnost proti korozi
- Žáruvzdornost
- Žárupevnost

2.2.1. Odolnost proti korozi

Koroze je proces vedoucí k znehodnocení materiálu, zejména jí podlehají materiály kovové. Není ale výjimkou, že zkorodovat dokáží i materiály umělé, jako je plast. Koroze je způsobená chemickým nebo elektrochemickým působením okolního prostředí. Rychlost jakou koroze znehodnocuje materiál se vyjadřuje hmotnostním úbytkem na jednotku plochy za jednotku času. Povaha koroze je dána vztahem materiálu k danému prostředí, z čehož můžeme odvodit takzvané korozní faktory: kyslíková depolarizace, vodíková depolarizace, bludné elektrické proudy, stárnutí materiálu v důsledku únavy a jiné. Letecké konstrukce jsou provozně vždy zatěžovány v intenzivním styku s okolním prostředím, a proto je ochrana proti účinkům koroze vždy velmi důležitý proces.

2.2.2. Žáruvzdornost

Žáruvzdornost materiálu je schopnost, dlouhodobě odolávat působením žáru (teplotám na 600 °C). Tato schopnost je podmíněna relativně pomalým postupem oxidace materiálu za vyšších teplot. Proto se někdy tato vlastnost popisuje také jako odolnost proti opálení. Takovéto materiály v letecké konstrukci používáme u prvků pasivní protipožární ochrany hlavně tam, kde nejde zároveň o přenos významných namáhání. Materiály které vykazují žáruvzdornost jsou buď keramické, nebo slitiny železa s chromem, křemíkem či hliníkem.

2.2.3. Žárupevnost

Žáropevné materiály jsou především kovové slitiny, které se vyznačují dlouhodobou pevností za vysokých teplot. Jsou v podstatě žáruvzdorné a zároveň neztrácí své pevnostní charakteristiky při vysokých teplotách. U letadlových konstrukcí se tyto materiály uplatňují především u tepelně a pevnostně namáhaných částí leteckých motorů. Nejvyšší nároky v této oblasti mají proudové motory.

Do teplot okolo 550°C zpravidla vystačíme s ocelí s malou příměsí chromu, molybdenu a vanadu. Do teplot 700°C jsou vhodné austenitické oceli chromoniklové s přídami molybdenu, vanadu, titanu, niobu a boru. Pro ještě vyšší teploty se potom využívají niklové superslitiny a slitiny na bázi kobaltu, vanadu, molybdenu a tantalu.

2.3.Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti nám vyjadřují především kvality materiálu z hlediska odolnosti proti působení vnějších zatěžujících sil a následných reakcí materiálu. Nejčastěji se setkáváme s těmito charakteristikami:

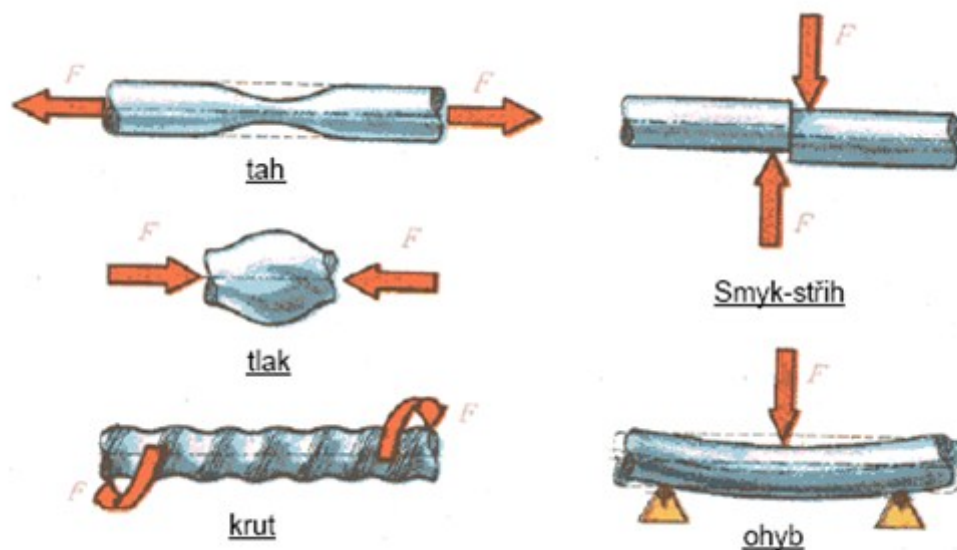
- Pevnost (statická, únavová)
- Tvrdost
- Pružnost
- Houževnatost
- Křehkost

2.3.1. Pevnost

Pevnost je schopnost materiálu odolávat mechanickému zatížení – působením sil a momentů sil. Každý materiál má své hranice ve kterých je schopný odolávat zatížením vnějšími silami. Pokud na materiál budeme působit silami vyššími než je schopen unést překročíme jeho mez pevnosti a dojde k porušení materiálu a následné destrukci. Pevnost dané konstrukce nezávisí pouze na jakosti materiálu, ale i na tvaru a pevnostních prvků, na jakosti povrchového opracování, dále na způsobu zatížení a na teplotách, kterým je materiál vystaven.

Jednotlivé druhy namáhání materiálu jsou vyobrazeny na následujícím obrázku.

Obrázek 3: Jednotlivé druhy namáhání materiálu [3]



Druhy pevnostního namáhání dělíme podle toho, jakým způsobem je prvek namáhán. Rozlišujeme na šest základních namáhání: pevnost v tahu, v tlaku, v ohybu, ve smyku, ve krutu a ve vzpěru, který není na obrázku zobrazen. Prvky konstrukce letadla jsou na daném místě vzhledem ke zvolenému konstrukčnímu řešení (nosníková, prutová a další konstrukce) namáhané některým z vyobrazených způsobů nebo jsou namáhané kombinovaně. To znamená, že na danou část konstrukce můžou najednou působit ohybové síly a krutové zároveň. Tomu musíme přizpůsobit volbu správného materiálu a vhodný tvar budoucí konstrukce.

Dále rozlišujeme pevnost podle druhu působení sil na statickou (zatížení se časem nemění) a na pevnost dynamickou (zatížení se časem neustále mění). Dalším speciálním případem dynamické pevnosti, je pevnost v rázu. Při pevnosti v rázu zkoumáme materiál, který podrobíme prudké změně zatížení, tzv. skokovým zatížením.

2.3.2. Tvrdost

Tvrdost je schopnost materiálu odolávat vnikání cizího tělesa. Nejstarší zkoušky tvrdosti materiálu se provádí pokusnými vrapy nerosty. Nerosty jsou seřazeny podle jejich vlastní tvrdosti (Mohsova stupnice). Podle této vrypové zkoušky tvrdosti je tvrdost daného materiálu určena nejnižším číslem nerostu, jehož ostrá hrana dokáže udělat vryp

do zkoušeného materiálu. U technických konstrukčních materiálů se tvrdost určuje zkouškami vnikajícími.

- Zkouška tvrdosti podle Brinella: Na základě velikosti průměru vtisku kalené ocelové kuličky (HBS) nebo tvrdokovové kuličky (HBW), která se silou vtlačí do zkoušeného materiálu.
- Zkouška tvrdosti podle Rockwella: Podle trvalé hloubky vtisku ocelové kuličky (HRB) nebo diamantového hrotu (HRC) vtlačováním do zkoušeného materiálu.
- Zkouška tvrdosti podle Vickerse (HV): Tvrdost materiálu se vyhodnotí podle poměru síly, kterou vtlačujeme diamantový hrot do zkoušeného materiálu, a plochy vtisku ve zkoušeném materiálu.

Dále známe i zkoušku odrazovou

- Shoreho zkouška tvrdosti (HS): Výslednou tvrdost zjistíme z výšky odskoku zkušebního tělíska (kalené ocelové kuličky) od zkoušeného materiálu.

Písmena v závorkách jsou zkratky, podle kterých poznáme, jaká zkouška byla na daném materiálu vykonána.

2.3.3. Pružnost

Pružnost nebo také elasticita, je schopnost materiálu konstrukčních prvků po odlehčení působících sil vracet se do svého původního tvaru, který byl vykazován před tím, než byl prvek vystaven vnějšímu zatížení. Pružnost je charakterizována modulem pružnosti. Proces návratu vnitřními silami do původní podoby materiálu je popisován Hookovým zákonem: $\varepsilon = \sigma / E$. ε znamená poměrné prodloužení, σ je napětí a E je modul pružnosti. V mezích platnosti Hookova zákona, ale jen do meze úměrnosti, je možné stanovit modul pružnosti jako konstantu úměrnosti mezi napětím a relativní deformací pružného tělesa. Prvky konstrukce vyrobená z materiálu, který má větší modul pružnosti se deformují méně, než prvky s menším modulem pružnosti.

2.3.4. Houževnatost

Houževnatost je schopnost materiálu odolávat velkým napětím a velkým deformacím, aniž by se struktura materiálu jakkoliv porušila. Je to podmíněné značnou odolností materiálu při jeho plastických deformacích. Houževnatost je určena z množství práce potřebné k deformaci jednotkového objemu materiálu do doby, než dojde k jeho porušení.

2.3.5. Křehkost

Křehkost materiálu je charakterizována malou odolností materiálu při plastických deformacích. Je to opačná vlastnost vrubové houževnatosti. U křehkosti materiálu má značný význam jeho vnitřní pnutí, které vzniká při výrobě, nebo při dalším zpracování materiálu, případně může vznikat i při jeho povrchové úpravě. U křehkým materiálu nastává náhlé porušení struktury i při nepatrném přetvoření. Při takovém rozpadu prvku konstrukce z křehkého materiálu je typické, že jednotlivé části rozpadnutého dílu nevykazují žádné trvalé deformace.

2.4. Technologické vlastnosti

Technologickými vlastnostmi materiálu nazýváme takové vlastnosti, které přímo souvisí se zpracováním materiálu, a dále vypovídají o jeho kvalitách pro další výrobu. K určení základních technologických vlastností používáme tyto charakteristiky :

- Tvárnost
- Svařitelnost
- Slévatelnost
- Obrobitelnost

2.4.1. Tvárnost

Tvárnost je významná vlastnost všech kovů a slitin projevující se schopností trvalé deformace bez porušení celistvosti materiálu. Tvárný materiál si zachovává tvar, který mu dáme působením vnějších sil při mechanickém opracování, a zachovává si ho,

i když vnější formující síly přestanou působit. Této skutečnosti se využívá jak při tváření za tepla, tak i při tváření za studena. Tváření za tepla znamená, že teplota tváření je vyšší než teplota překrystalizace materiálu. Naopak tváření za studena má teplotu tváření nižší, než je teplota překrystalizace materiálu.

Druhy tváření jsou válcování, kování, lisování, tahem, tlakem, ohybem, kroucením a kombinováním namáháním, jako je spojení například tah a kroucení.

Změny dané tvářením, které v materiálu pozorujeme jsou dané tím, jestli tváření probíhá za tepla nebo za studena, protože s teplotou se mění také síla potřebná k dosažení žádoucí deformace, ale zároveň i stupeň deformace, který materiál vydrží bez porušení.

2.4.2. Svařitelnost

Svařitelnost nám určuje technologickou vhodnost materiálu pro spoje předepsané jakosti. Svařitelnost se dělí podle předepsaných technických norem a rozlišujeme tyto základní typy: svařitelnost zaručená, svařitelnost podmíněná, svařitelnost dobrá a jako poslední obtížná svařitelnost. Druh svařitelnosti závisí na volbě materiálu a jeho vhodnosti ke svaření, dále také na vlastnostech přídavného materiálu, kterým bude svařování probíhat. Další velice podstatnou částí svařování je, v jakých reálných podmínkách bude proces probíhat, jakou technologii svařování použijeme, a jak bude vypadat konstrukční řešení letadlové konstrukce. Musíme také brát na vědomí, že svařováním vznikají v materiálu nevratné změny jeho mechanických vlastností.

2.4.3. Slévatelnost

Slévatelnost kovů předurčuje jejich schopnosti vytvářet dobré a kvalitní odlitky. Tato vlastnost závisí na tavitelnosti materiálu a schopnosti vytvářet hutný odlitek. V roztaveném stavu by měl mít materiál dobrou tekutost. Dobrá tekutost znamená, že materiál by měl dokonale vyplnit formu, do které je sléván. Neměl by tvořit nežádoucí bubliny a co nejméně se smršťovat. Na kvalitu slévaného materiálu má vliv chemické složení, tepelná vodivost, viskozita, bod tání a tuhnutí, roztažnost, průběh tuhnutí, technologické postupy při odlévání a vlastosti a kvalita formy, do které je materiál odléván.

2.4.4. Obrobitelnost

Obrobitelnost značí, zda je materiál vhodný pro technologické procesy zpracování. Technologickými procesy ve strojírenské výrobě značíme tvorbu požadovaného geometrického tvaru obrobku v předepsaných rozměrech a požadované jakosti obrobených ploch. Jedná se hlavně o chování materiálu při obrábění řeznými nástroji, jako je frézování, soustružení, hoblování, řezání, vrtání aj. Obrobitelnost závisí na tvrdosti a houževnatosti materiálu, snadnosti oddělování třísky a na řezném odporu vůči, nástroji kterým obrobení provádíme.

3. DUHY KONSTRUKCÍ LETADEL

3.1. Trup

Letadlo obsahuje tyto hlavní části: drak letadla, pohonnou soustavu, výstroj a instalace.

Z historie známe dvě základní strategie stavby. Jedna říká, že základní stavební částí jsou křídla, a na ně je dodatečně přidělán trup. Druhá nám říká, že základ je trup, a na něj jsou přidělována křídla. Každá tato technika má své plusy a mínusy a ve světě se dodnes používají obě možnosti.

Trup spojuje jednotlivé části letadla v jeden celek, obsahuje všechno potřebné vybavení. Jsou na něm umístěny systémy avioniky, výstroje a mnoho dalších zařízení. Z hlediska funkčnosti celého stroje trup také obsahuje prostory pro umístění cestujících nebo nákladu. Z hlediska provozního můžeme do trupu letadla umístit pohonnou jednotku a palivové nádrže.

Trup dále slouží k přenosu užitečného zatížení, pro velké dopravní letadla je to navíc hlavní stavební požadavek. Ve většině dnešních letadel je uspořádání jednotrupové konstrukce s ocasioními plochami napojené na hlavní část. Zadní, popřípadě přední část, se dá u velkých nákladních letadel odklopit, aby bylo docíleno snadnější a rychlejší nakládky a vykládky převáženého materiálu.

V neposlední řadě musíme brát v úvahu, že trup je v podzvukových rychlostech z aerodynamického hlediska velkým zdrojem pasivního odporu.

3.1.1. Typy konstrukcí trupu

Typy konstrukcí dělíme podle vývoje letectví od historie po současnost:

- Prutová konstrukce
- Nosníková poloskořepina
- Poloskořepina
- Skořepina
- Smíšená konstrukce
- Sendvičová konstrukce

Všechny typy konstrukcí si dále probereme podrobněji s popisem a obrázky konstrukcí.

Prutová konstrukce (příhradová)

Prutovou konstrukci tvoří několik podélných prutů, které vymezují vnitřní prostor trupu.

Dále je konstrukce tvořena větším počtem výztužných prutů. Tato konstrukce se vyznačuje tím, že pruty jsou namáhány pouze tahem nebo tlakem. Pokud pro stavbu použijeme prutovou konstrukci, musíme dodržet tyto tři podmínky:

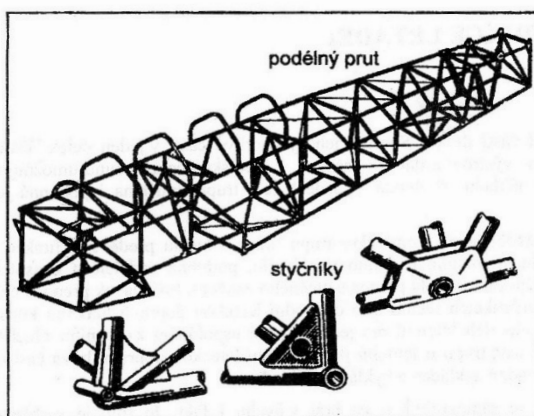
- Pruty musí být přímé.
- Pruty se mohou protínat pouze ve styčnících.
- Zatížení se do konstrukce svádí pouze přes styčníky.

Pokud nedodržíme tyto podmínky hrozí, že pruty budou namáhány i ohybem. V takovém případě se už bude jednat o rámovou konstrukci.

Využití těchto konstrukcí je v malém letectví spousty. Najdeme je například v malých sportovních nebo zemědělských letadlech. Ovšem ve velkém létání se tato konstrukce nepoužívá. Hlavní výhodou tohoto druhu konstrukce je snadná pevnostní analýza či zavádění lokálních sil. Mezi velké nevýhody patří technologická náročnost při svařování, jestliže dojde k nedodržení správného svářecího postupu, může dojít

k deformaci konstrukce. Další z nevýhod je nevyužití potahu, který je nenosný a plní pouze funkci aerodynamického krytu.

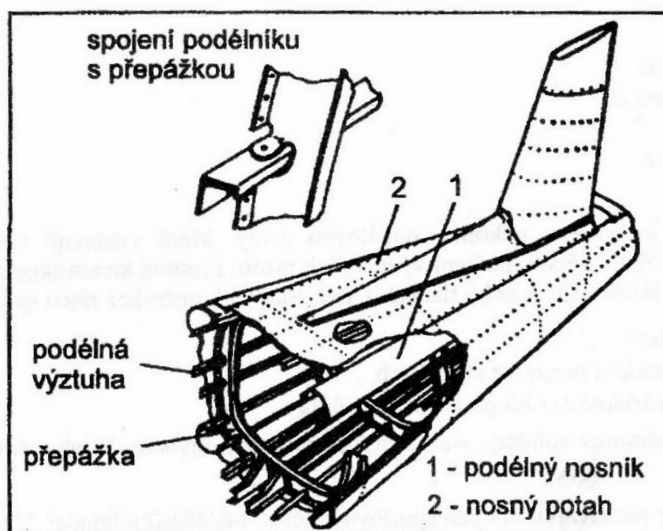
Obrázek 4: Prutová konstrukce [2]



Nosníková poloskořepina

Nosníková poloskořepina je tvořena podélnými nosníky a podélnými výztuhami. Dále také přepážkami a nosným potahem. Podélné nosníky jsou namáhány tlakem i tahem a přebírají značnou část ohybového zatížení. Nosný potah zde přenáší posouvající síly a krouticím moment. Potah je stabilizován a připevněn pomocí podélných výztuh. Přepážky tvarově stabilizují podélný nosný systém a přenášejí zatížení do jiných částí letounu.

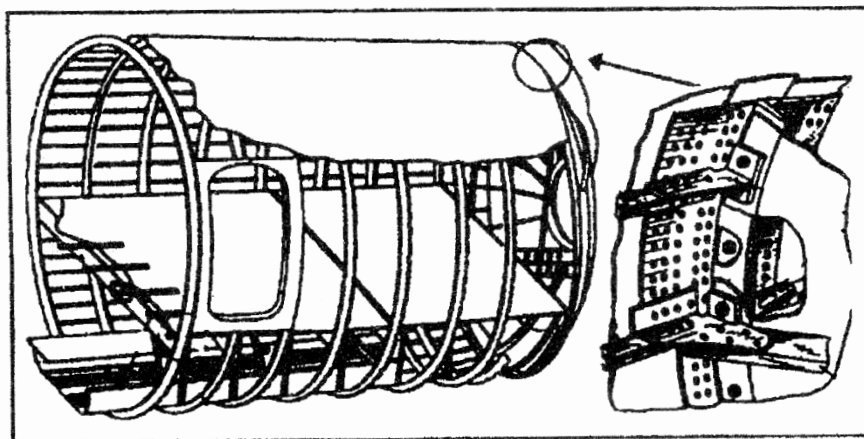
Obrázek 5: Nosníková skořepina [2]



Poloskořepina

Poloskořepinová konstrukce je v letectví nejpoužívanějším typem konstrukce hlavně z důvodu velkého vnitřního prostoru. Poloskořepina v podstatě vznikne rozpadem podélných nosníků nosníkové poloskořepiny do podélných výztuh. Ty potom kompletně přenášejí svými spolunosnými šířkami ohybové zatížení.

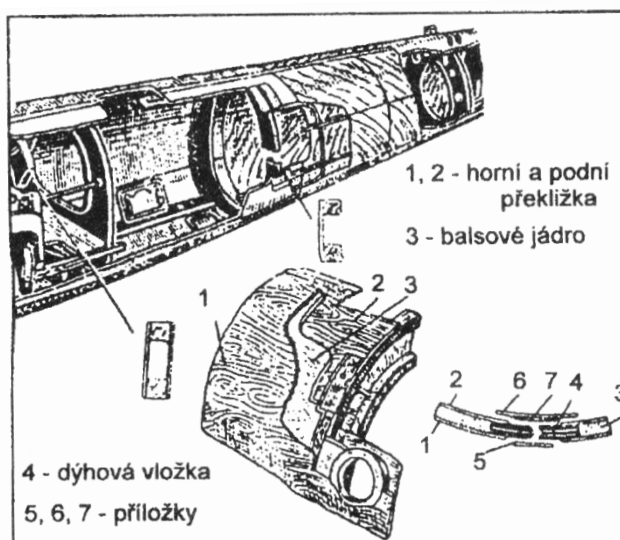
Obrázek 6: Poloskořepina [2]



Skořepina

Skořepinová konstrukce trupu je tvořena silným nosným potahem, který je tvořen takzvaným „sendvičem“ (pojem sendvič a sendvičová konstrukce bude vysvětlen následovně) a několika přepážkami, které zajišťují tvar trupu. U tohoto druhu konstrukce jsou všechny síly a momenty vznikající na letadle přenášeny potahem. Jednotlivé přepážky zachycují a přenášejí do konstrukce osamělé síly, které na nich vznikají.

Obrázek 7: Skořepina [2]



Smíšená konstrukce

Tento typ konstrukce se využívá u malých sportovních letounů, kdy se konstrukce skládá ze dvou částí. U tohoto druhu konstrukce je přední část trupu letadla řešena jako prutová, a pak dále za kabinou je trup poloskořepinové či poloskořepinové konstrukce.

Sendvičová konstrukce

Stavebním prvkem sendvičových konstrukcí je panel, který se skládá ze dvou tenkých potahů. Tyto potahy jsou vyztuženy jádrem. Sendvičové konstrukce jsou známy svou vysokou tuhostí, nízkou hmotností, hladkým povrchem a dobrými izolačními vlastnostmi, jak tepelnými tak i hlukovými.

Nevýhodou sendvičové konstrukce je složitější spojování panelů kontrola spoje potahu a jádra. Složité je i zavádění lokálních sil do sendvičových konstrukcí. Taková místa kam se lokální síly zavádějí, je třeba vyztužit a zaváděnou sílu dále rozvést do panelu.

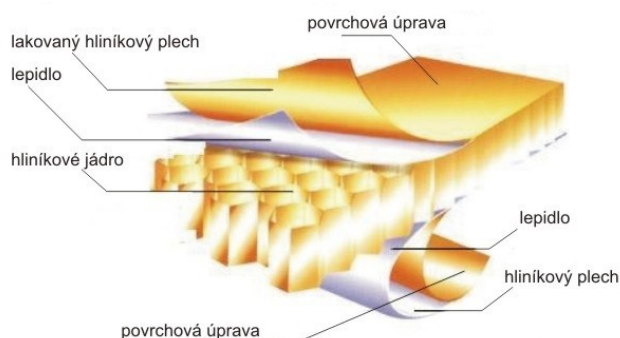
Další nevýhody:

- Malá odolnost proti rázovému poškození.
- Škvřířivost a toxické splodiny.
- Elektrochemická koroze.
- Rozdílné tepelné dilatace u kompozitních potahů s hliníkovým jádrem.

Sendvičové konstrukce se mohou skládat s různých materiálů. Potah se vyrábí z překližek, termoplastů, duralových, ocelových nebo titanových plechů.

Výztuž se může skládat ze dřeva, pěny nebo voštiny a jiných.

Obrázek 8: Příklad složení sendvičové konstrukce [11]



3.2.Konstrukce křidel

Konstrukce křidel se dělí podle více kritérií oproti trupu. Dělí se do 3 hlavních skupin, a ty se pak dále dělí do menších podskupin:

- 1) Podle funkčnosti potahu
 - Bez nosného potahu
 - S nosným potahem
 - Geodetické konstrukce

- 2) Podle přenosu zatížení
 - Samonosné
 - Polosamonosné
 - Vyztužené

- 3) Podle způsobu spojení s trupem letadla
 - Nedělená
 - Dělená v rovině symetrie
 - Dělená v trupu
 - S centroplánem

Následně budou všechny typy konstrukce křidel popsány

3.2.1. Dělení podle funkčnosti potahu

Konstrukce bez nosného potahu

Nenosný potah křídla, např. plátno, tkaniny, přenáší pouze síly tlakové, které vznikají z aerodynamického zatížení na vnitřní konstrukci křídla. Potah netvoří torzní skříň, to znamená, že nosné plochy s nenosným potahem mají buď skříňový nosník, nebo prostorové výztuhy.

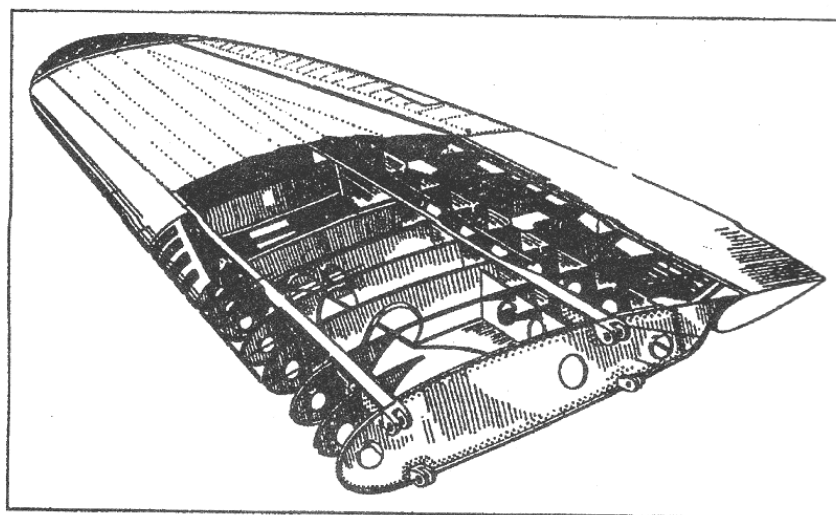
Konstrukce s nosným potahem

Použití kovových potahů u nosných ploch letadla, dovolilo využít potah k přenosu zatížení. Ze začátků jako torzní skříně, pro přenos kroutících momentů u nosníkových konstrukcí, postupem času i přenos ohybových momentů pokud je podélné vyztužení. Nejvyšší využití potahu je u skořepin, tam potah přenáší veškeré zatížení.

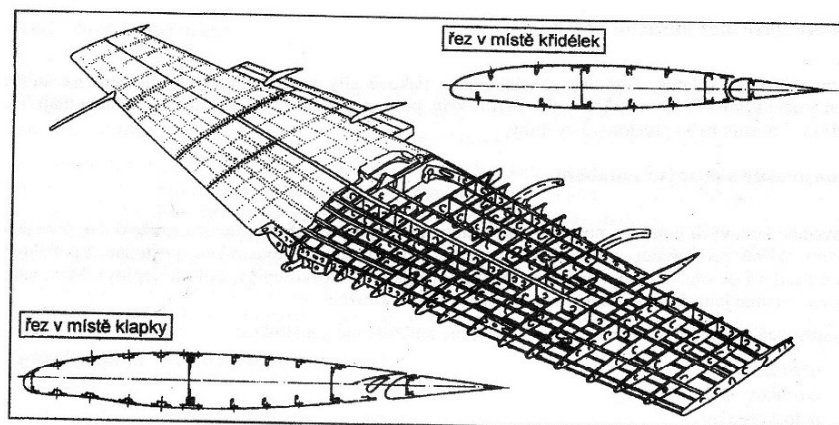
Konstrukce s nosným potahem tvoří tyto tenkostěnné konstrukce:

- Nosníkové
- Nosníkové poloskořepiny
- Poloskořepiny

Obrázek 9: Nosníková poloskořepina [2]

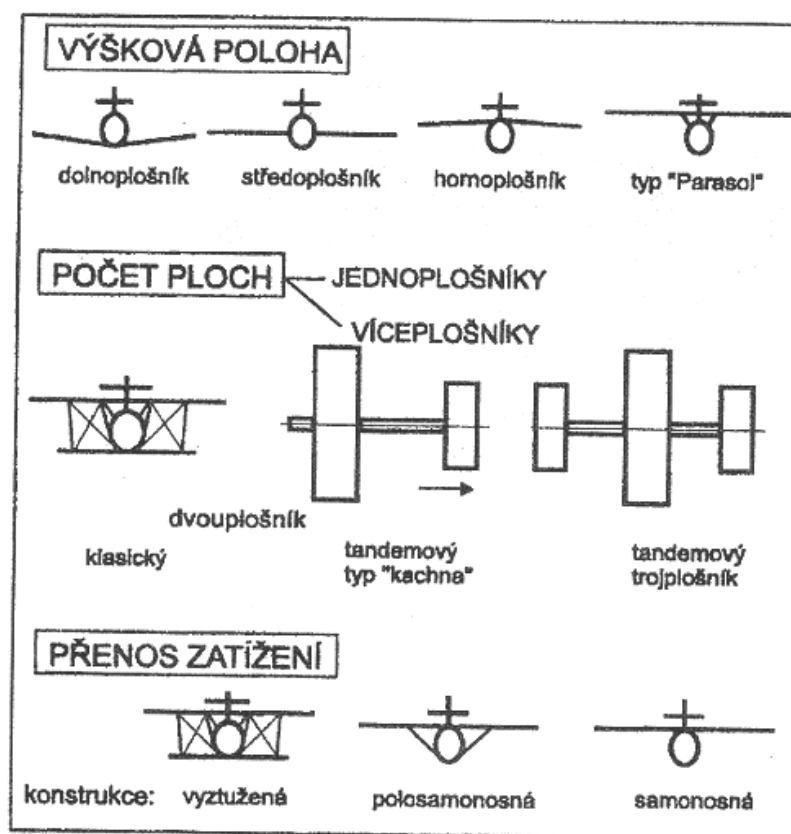


Obrázek 10: Nosníková skořepina [2]



Dále lze dělit konstrukce podle konkrétního stavebního uspořádání nebo pole počtu nosníků nebo stojin. Následující obrázek zobrazuje rozdělení letadel do tříd podle uspořádání křídla vůči trupu u draka letadla, následně dělení podle počtu nosných ploch a jako poslední rozdělení podle způsobu přenosu zatížení konstrukce křídla.

Obrázek 11: Dělení křídel [2]



Geodetická konstrukce

V podstatě se jedná o skořepinovou konstrukci tvořenou systémem křížových spojených táhel a vzpěr tvarovaných po obvodu křídla. Potah zde tvoří jen doplňující zpevnění, takže v případě jeho značného poškození nedojde ke katastrofální poruše křídla a zřícení letadla. Geodetické konstrukce letadel byly používány převážně během 2. světové války, a to hlavně na bombardovacích letounech. Ale vzhledem k technologické náročnosti, kdy křížové spoje museli být poddajné, se tyto konstrukce později v civilním letectví neujaly.

Obrázek 12: Příklad geodetické konstrukce [13]



3.2.2. Rozdělení podle přenosu zatížení

Samonosná Konstrukce

Veškeré ohybové síly působící na konstrukci se přenáší pouze nosnými plochami

Polosamonosná konstrukce

K přenosu zatížení využívá vzpěry, které odlehčují nárůst ohybového momentu směrem ke kořeni křídla.

Vyztužená konstrukce

Tato konstrukce je využívána hlavně u malých dvojplošnickových sportovních letadel. Použití tohoto typu konstrukce je výhodné hlavně z toho důvodu, že nemusíme každé křídlo řešit jako samostatnou samonosnou konstrukci.

Křídla u tohoto typu konstrukce jsou spojena ocelovými lany, které musí být řádně předepjaté, aby v žádném režimu letu nedošlo k odlehčení a prověšení lan. Obrovská nevýhoda této konstrukce spočívá ve velkém aerodynamickém odporu, proto se dnes používá pouze u malých sportovních a amatérských letadel.

3.2.3. Rozdělení podle způsobu spojení s trupem letadla

Nedělená křídla

Používají se u letadel, kde rozpětí křídel umožňuje montáž a výrobu křídel vcelku. Nedělené křídlo sebou nese i řadu nevýhod. Zejména omezuje vnitřní prostor trupu, není rozebratelné, tudíž transport a případné opravy jsou složitější. Na druhou stranu je nedělená konstrukce křídla v celku, neobsahuje spoje, a tím je podstatně lehčí než dělené křídlo o stejné velikosti. Navíc nepřenáší ohybové zatížení do konstrukce trupu.

Spoj křídla s trupem letounu vyžaduje vysokou strojařskou a výrobní přesnost v lícování spojů a nastavení úhlů vzepětí.

Dělená křídla v rovině symetrie

Dělená křídla se využívají v případě, kdy nejde z nějakých důvodů, ať už transportních, nebo technologických, použít nedělená křídla. Navíc zachovávají tu výhodu, že nepřenáší ohybové momenty do trupu.

Dělená křídla u trupu

Tuto konstrukci trupu používáme v případě, kdy nemůžeme omezit vnitřní prostor trupu kořenovou částí křídla. Hlavní nevýhodou této konstrukce je, že ohybové momenty v křídlech se přenáší na trup. To znamená, že trup vyžaduje zesílení v místě spojení, a vhodné rozvedení působících sil.

Křídla s centroplánem

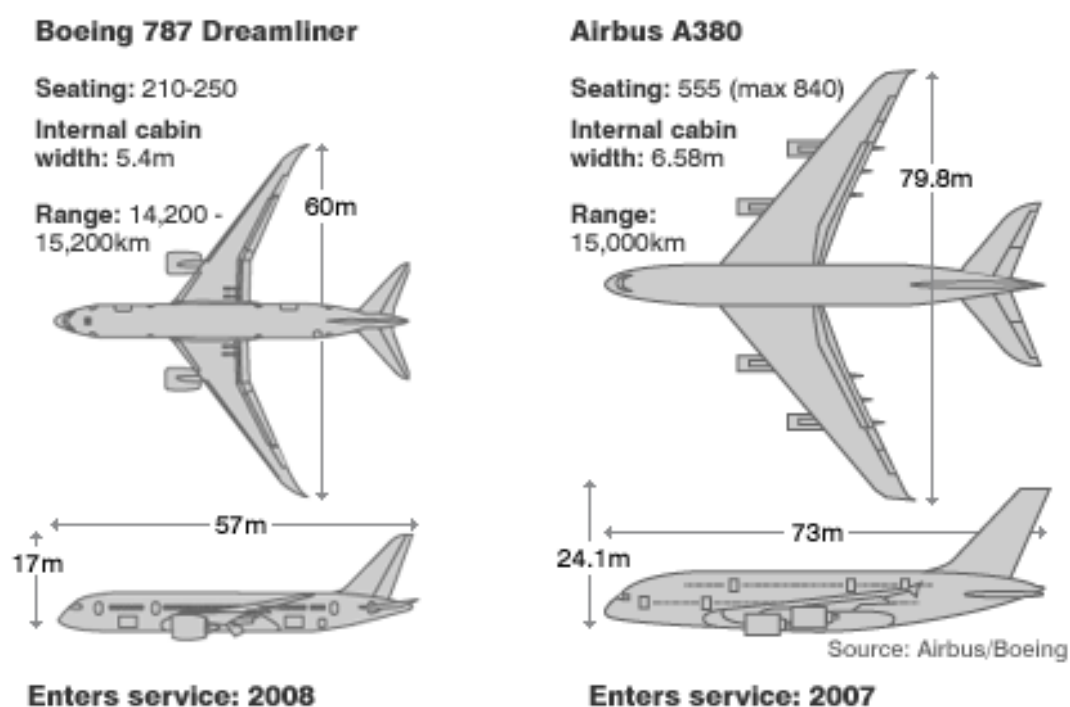
Je nejpoužívanější konstrukcí křídel, hlavně u velkých dopravních letounů s vysokým zatížením křídel. V podstatě se jedná o křídlo rozdělené na tři části - dvě křídla a střední průběžná část. Střední průběžnou částí zajistíme, že se vyloučí přenos ohybových sil přes poloskořepinové konstrukce trupu.

4. POROVNÁNÍ LETADEL AIRBUS A380 A BOEING B787 DREAMLINER

Tato dvě letadla patří mezi špičku našeho moderního letectví a ukazují i směr kam se v budoucnu bude vývoj letadel ubírat. I když Airbus je se svým A380 o 4 roky starší než Boeing B787 je tento časový úsek ve vývoji nepatrný. Mezi letadly je ovšem velký rozdíl už jen z pohledu na velikost a počty cestujících. A380 je dlouhá 73 m s rozpětím 79,8 m a pojme až 880 pasažerů, B787 Dreamliner je oproti A380 menší s daleko menším počtem převážených cestujících. B787 Dreamliner se měl vyrábět ve 3 verzích, ale nakonec se rozhodlo pouze o dvou. I ta největší verze ze dvou vyráběných s velikostí 60 m na délku a 63 m rozpětí hodně pokulhává za A380. V největší verzi dokáže převézt až 330 pasažerů.

Tento přehled by měl nastínit rozdílnost obou letadel a cesty, kterými se výrobci ubírali při stavbě těchto letadel.

Obrázek 13: Srovnání obou letadel [8]



4.1. Airbus A 380

Délka: 73 m

Rozpětí: 79,8 m

Výška: 24,1 m

Maximální kapacita pasažérů : 880

Maximální rychlost: 1 062 km/h

Objem palivové nádrže: 388 000 l

Dolet: 15 400 km



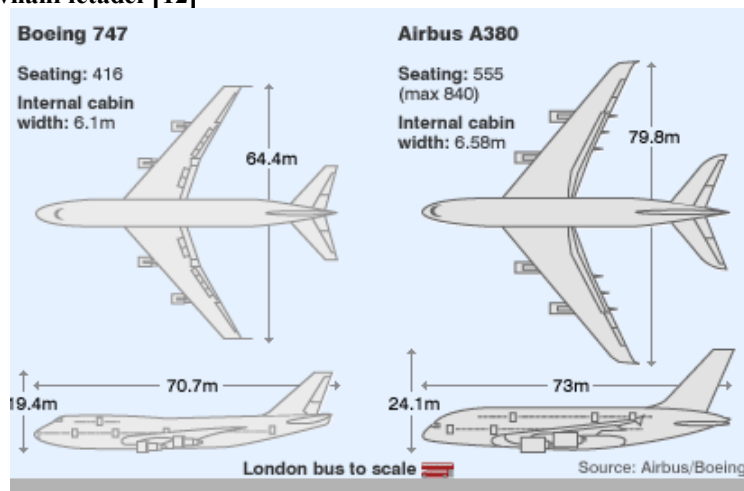
Obrázek 14: Airbus A380 [16]

Firma airbus se do roku 2000 potýkala s problémem, že jí v portfoliu vyráběných letadel chybí takové, které by dokázalo konkurovat Boeingu B747. Největší do té doby Airbusem vyráběný letoun byl A340 který kapacitou sedadel konkuroval jen stěží. Tím že Airbus neměl konkurenci schopný letoun, docházelo k tomu, že když už si zákazník koupil B747, tak zůstal věrný jedné značce a nakupoval i menší letadla na krátké vzdálenosti.

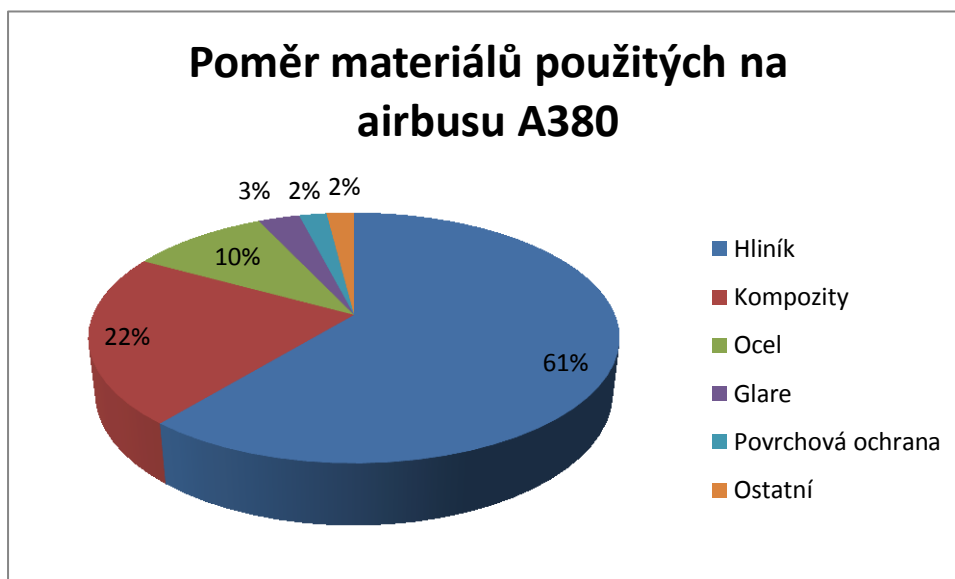
Proto bylo rozhodnuto, že Airbus vyvine úplně nový na tu dobu nevídaný letoun, který bude konkurenci schopný, lehčí, větší, modernější a pojme víc pasažérů než B747. V říjnu roku 2000 bylo rozhodnuto o stavbě moderního letadla s označením A380, do vývoje se investovalo přes deset miliard Eur.

V následujícím obrázku jsou srovnány velikosti A380 a B747.

Obrázek 15: Srovnání letadel [12]

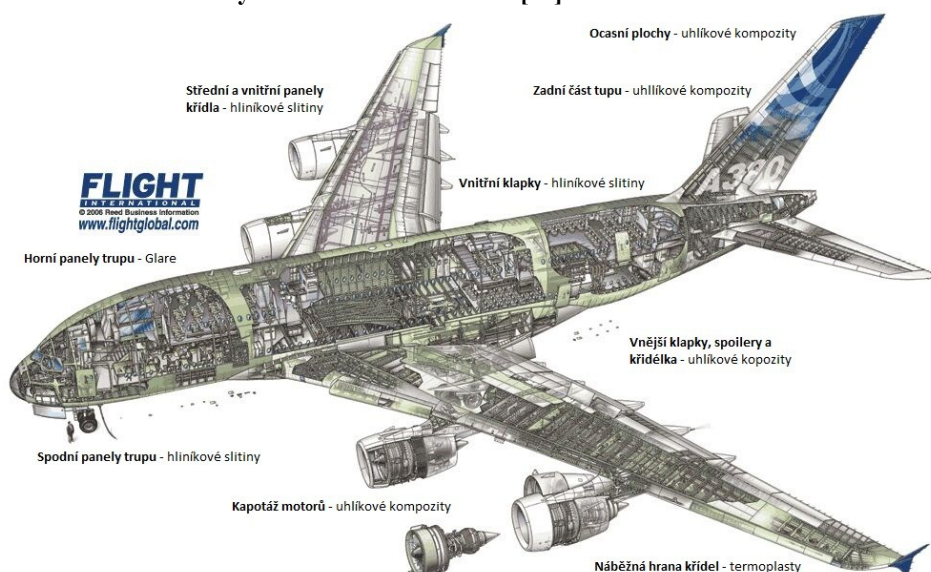


Tabulka 9: Použité materiály na Airbusu A380



V použitých materiálech se Airbus vydal směrem v celku konvenčním, s tím, že hlavním materiálem použitým na stavbu konstrukce se stal hliník. Firma se až v takové míře nezaobírala vývojem nových technologií, ale spíše chtěla vytvořit úplně nové a konstrukčně největší dopravní letadlo. Proto jsou kompozity až na druhém místě, ale i toto druhé místo u tak velkého letadla vynikající umístění. Dále následuje ocel, která pomalu ale jistě ustupuje do pozadí, hlavně kvůli své hmotnosti. Materiál zvaný Glare je relativně nově vyvinut a používá se hlavně na velké plochy, jako jsou horní panely trupu. Dvouprocentní složka zastupuje, byť se to zdá být velké zastoupení, povrchovou ochranu, což jsou všechny nátěry. Ostatní materiály jsou většinou plasty, keramika a jiné. Na následujícím obrázku je vyznačeno kde se jaké materiály nacházejí.

Obrázek 16: Znázornění daných materiálů na letadle [14]



4.2. Boeing B787 Dreamliner

Délka: 65 m

Rozpětí: 63 m

Výška: 16,9 m

Maximální kapacita pasažérů : 290

Maximální rychlost: 945 km/h

Objem palivové nádrže: 138 898 l

Dolet: 14 800 – 15 750 km



Obrázek 17: Boeing B787 Dreamliner [15]

Boeing v roce 2001 vydal prohlášení, že hledá nové směry ve vývoji nových modelů pod označením Project 20XX. 29 března 2001 Boeing představil studii velikostně podobnou B767 s neobvyklou konfigurací, kde byly motory instalované v zadních částech letadla. Hlavním tahákem tohoto projektu byla rychlost. Cestovní rychlost měla dosahovat 95 – 98 % rychlosti zvuku. Koncept dostal označení Sonic Cruiser.

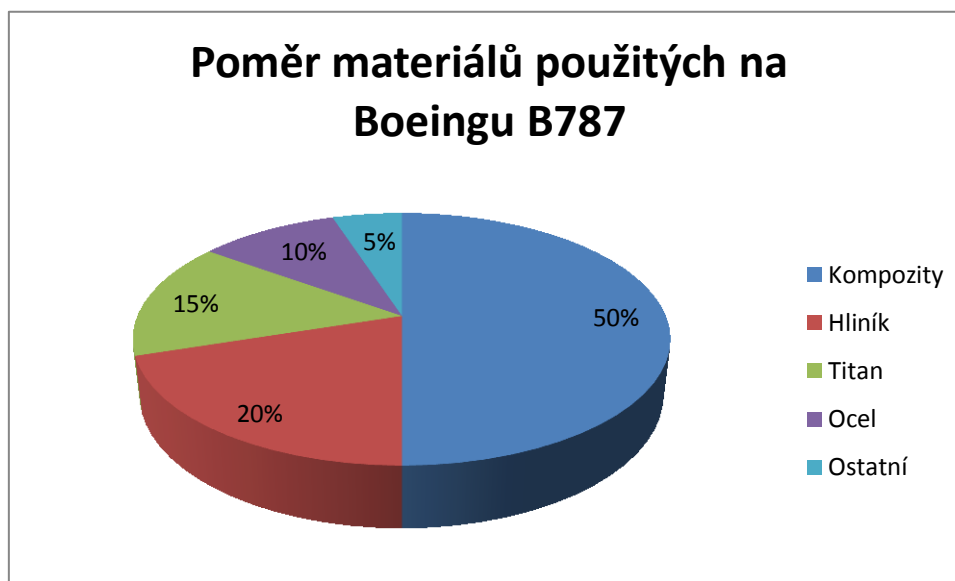
Ovšem takový projekt měl řadu odpůrců hlavně ze strany ekologů. Další problém byl, jestli zákazníci budou chtít platit nepatrně vyšší cenu za to, že se z bodu A do bodu B přepraví rychleji než stávajícími konvenčními letadly. Hlavní stop projekt dostal po teroristických útocích 11. září 2001.

V tu dobu představil Boeing projekt Yellowstone, na kterém se pracovalo souběžně s projektem Sonic Cruiser. Tento projekt představoval standartní letadlo na střední a dlouhé tratě s tím rozdílem, že se bude skládat převážně z nových materiálů místo klasických konvenčních v té době standardně používaných.

Start vývoje a stavby letadla B787 Dreamliner byl zahájen na konci roku 2002, kde Boeing ukázal největším a nejvlivnějším aeroliniím své koncepty letadel. Aerolinky si zvolili projekt B787, protože vypadal jako ekonomicky výhodný se spoustou inovací. Hlavní zbraní B787 byla jak obrovská úspora paliva díky nově použitým technologiím, tak i konstrukce s nově vyvinutými motory.

V následujícím grafu můžeme vidět procentuální podíl materiálů použitých na letounu B787 Dreamliner.

Tabulka 10: Použité materiály na Boeingu B787

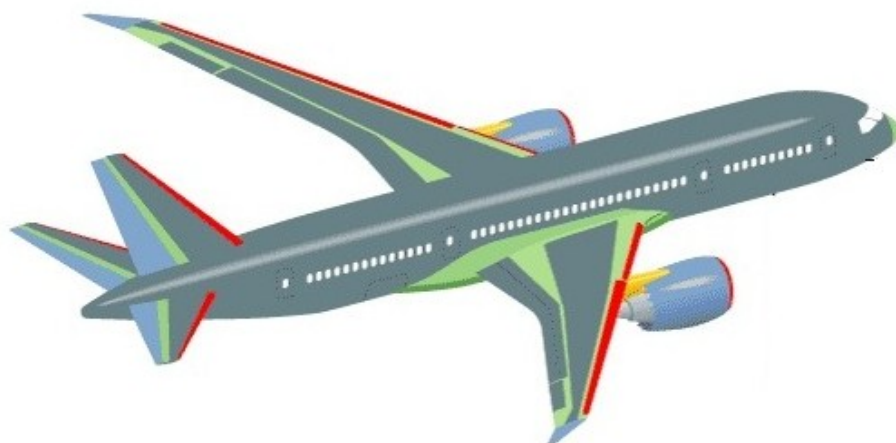


U letounu B787 Dreamliner je vidět použití nových technologií v praxi. Celá polovina konstrukce letadla se skládá z kompozitů. To zaručuje podstatně lehčí konstrukci než u klasických letadel. V Boeingu zjistili, že takto vyrobené letadlo, které obsahuje polovinu kompozitních materiálů, spotřebuje o 20% méně paliva než model B767. Dále konstrukce obsahuje na tak velké dopravní letadlo pouze 20% hliníku. Za ním je titan a ocel, a v poslední řadě s pětiprocentním podílem jsou materiály jako plasty, guma a keramika.

Následující obrázek znázorňuje, kde se použité materiály nacházejí.

Obrázek 18: Znázornění daných materiálů [9]

- Laminát
- Hliník
- Uhlíkový kompozit
- Uhlíkový sendvičový kompozit
- Ocel / Titan



5. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo uvést přehled používaných materiálů a nastínit, kudy se může další vývoj ubírat. Práce mapovala jednotlivé druhy materiálů používané v letectví, jaké mají vlastnosti dané materiály, a kde jsou prakticky využívány. Vetší prostor byl dán kompozitním materiálům, protože tyto materiály jsou svými vlastnostmi zatím nepřekonané. Kompozity jsou materiály dnešních dnů a hlavně budoucích a budeme je vídat čím dál tím častěji.

Dále jsem popsal vlastnosti materiálů. Protože tyto vlastnosti rozhodují, kdy a kde se daný materiál v letectví použije.

Další část práce je pak věnována typům konstrukcí letadel, které jsem rozdělil na konstrukci trupu a konstrukci křídel. V této části jsou popsány a ukázány všechny druhy konstrukcí letadel.

V neposlední řadě bylo mým cílem použít poznatky nabyté při studiu a tvorbě práce a ukázat jejich užití v praxi na nejnovějších dopravních letadlech na světě. Pro tento úkol jsem si vybral dvě velká moderní letadla, u kterých jsem popsal, jakou cestou se dnešní výrobci ubírají.

Můj názor je takový, že v dnešní době, kdy ceny paliv nezávratně rostou, jsou investice do vývoje velmi důležité. Výrobce nemá pouze za úkol postavit letadlo, ale má za úkol postavit prodejné letadlo, ekonomicky výhodné, ekologicky šetrné a hlavně bezpečné letadlo. Následující vývoj může být takový, že podíl konvenčních materiálů, jako je hliník a ocel, se bude nadále snižovat na co nejmenší možnou mez. Naopak by mohl vzrůst podíl kompozitů.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERARY

- [1] Beňo, L a kolektiv. Učební texty pro techniky údržby letadel dle předpisu JAR 66 – modul 6: Materiály a základní strojnické součástky, Brno: CERM Brno, 2004. ISBN: 80-7204-352-8
- [2] Slavík, L a kolektiv. Učební texty pro techniky údržby letadel dle předpisu JAR 66 – modul 11: Aerodynamika, konstrukce a systémy letadel, Brno: CERM Brno, 2004. ISBN: 80-7204-367-6
- [3] Základní vlastnosti kovů. [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://houskatech.wordpress.com/2010/12/15/vlastnosti-materilu-podle-druhu-a-zkouky/>
- [4] Všeobecný popis materiálů používaných při výrobě kompozitů. *Modding.cz* [online]. 1.3.2007 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.modding.cz/?p=73>
- [5] Metal Materials in Airbus A380. *Izmir aerospace* [online]. 2010 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.izmiraerospace.com/presentations/3_KARL_HEINZ_RENDIGS.pdf
- [6] Composite Materials in the Airbus A380 - From History to Future -. *Iccm-central* [online]. 2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM13proceedings/SITE/PAPERS/paper-1695.pdf>
- [7] Airbus A380. *Http://letectvi.dajbych.net/* [online]. 23.5.2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://letectvi.dajbych.net/airbus-a380>
- [8] Boeing 787 vs. Airbus A380. *Seeking alpha* [online]. 22.8.2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://seekingalpha.com/article/92153-boeing-787-vs-airbus-a380-the-latest-chapter>
- [9] New Large Aircraft Composite Fire Fighting. *Federal aviation administration* [online]. 22.8.2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.airporttech.tc.faa.gov/safety/bagot2.asp>
- [10] Impact behaviour of Fiber Metal Laminates; Impact and dent damage Resistance. *TUdeflt* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.lr.tudelft.nl/index.php?id=26601&L=1>

- [11] Celohliníkové. *Alu comosite panels* [online]. 2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.kompozity.com/102-hexalu>
- [12] New orders for Boeing 787 debut. *BBC News* [online]. 8.6.2007 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/6281582.stm>
- [13] Geodetická konstrukce křídla. *RC Mánia* [online]. 2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.rcmania.cz/viewtopic.php?p=330792>
- [14] Temporary QANTAS A380 grounding prompts fuel system questions. *Flightglobal* [online]. 3.3.2009 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.flightglobal.com/blogs/flightblogger/2009/03/qantas-a380-grounding.html>
- [15] BOEING 787 3D MODEL. *Formfonts* [online]. 2008 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.formfonts.com/3D-Model/1/7600/1/transportation/i10-aircraft/boeing-787-blank/>
- [16] AIRBUS A380 3D MODEL. *Formfonts* [online]. 2006 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.formfonts.com/3D-Model/1/7235/1/transportation/i10-aircraft/airbus-a380-blank/>